PHYSIKALISCHE ZEITSCHRIFT

No. 20. 15. Juli 1902. 3. Jahrgang.
Redaktionsschluss für No. 21 am 23. Juli 1902.

INHALT.

Originalmitteilungen:
J. Precht, Lumineszenz bei tiefen Temperaturen. S. 457.
K. v. Wesendonk, Über durch Beugung und verwandte Ursachen in den Dünsten der rauchenden Schwefel- wie Salpetersäure hervorgerufene Lichterscheinungen. S. 459.
K. v. Wesendonk, Notiz über Spitzenentladungen durch Teslaströme. S. 462.
E. Grimsehl, Eine zerlegbare Tangentenbussole. S. 462.
Mitteilungen aus dem physikalisch-mechanischen Institute von Professor Dr. M. Th. Edelmann:
No. 1: M. Edelmann, Ein neuer Schulkompensator. S. 465.
E. Ruhmer, Über die Empfindlichkeit und Trägheit von Selenzellen. S. 468.
G. C. Schmidt, Über die chemischen Wirkungen der Kathodenstrahlen. S. 474.
G. C. Schmidt, Über die Emanation des Phosphors. S. 475.
Vorträge und Diskussionen von der 73. Naturforscherversammlung zu Hamburg:
H. Frahm, Neue Untersuchungen im Schiff- und Schiffsmaschinenbau auf der Werft von Blohm & Voss. S. 481.
Eingegangene Schriften. S. 488.
Tagesereignisse. S. 488.
Personalien. S. 488.

ORIGINALMITTEILUNGEN.

Lumineszenz bei tiefen Temperaturen.

Von J. Precht.

1. Aus Beobachtungen von Dewar[1]) und Becquerel[2]) ist bekannt, dass Urannitrat beim Eintauchen in flüssige Luft oder flüssigen Wasserstoff zu leuchten beginnt. Der Krystall leuchtet solange er sich abkühlt, das Leuchten erlischt dann und zeigt sich später von neuem, wenn der Krystall herausgenommen wird und sich dabei wieder erwärmt. Der Versuch lässt sich mit demselben Krystalle mehrfach wiederholen, doch zerfällt er bald in kleine Bruchstücke. Der in flüssiger Luft dunkel gewordene Krystall leuchtet wieder beim Reiben an der Gefässwand.

Bei ähnlichen Versuchen fand ich, dass man hier zwei Erscheinungen zu trennen hat, einmal die Tribolumineszenz (nach E. Wiedemanns Bezeichnung) des Krystalles beim Zerspringen infolge der Dichteänderung beim Abkühlen und ferner die Änderung der Intensität des ausgesandten Phosphoreszenzlichtes mit abnehmender Temperatur. Bekanntlich sendet Urannitrat auch bei Zimmertemperatur dauernd ein schwaches, aber deutlich wahrnehmbares Phosphoreszenzlicht aus, unabhängig von der beim Schütteln der Krystalle erregten Tribolumineszenz. Beide Vorgänge bleiben beim Abkühlen nebeneinander bestehen. Die Dichteänderung hat ein Zerspringen der Krystalle und begleitende Tribolumineszenz beim schnellen Abkühlen und Wiedererwärmen zur Folge. Nicht in unmittelbarem Zusammenhange damit steht aber die Änderung der Intensität des Phosphoreszenzlichtes mit der Temperatur.

Diese letztere kann man für sich beobachten, wenn man die Substanz ausserordentlich fein pulverisiert. Dann fehlt die Tribolumineszenz und man erkennt, wie das Leuchten mit abnehmender Temperatur allmählich anwächst, bis es etwas oberhalb der Temperatur der flüssigen Luft ein Maximum erreicht, dann aber völlig erlischt, sobald die ganze Masse die Temperatur -193^0 erreicht hat. Beim Herausnehmen aus dem Dewarschen Gefässe — ich benutzte eine halbkugelige Schale von 10 cm Durchmesser — wiederholt sich derselbe Gang in umgekehrter Reihenfolge.

Dass hierbei nicht das Temperaturgefälle, sondern das Erreichen einer bestimmten sehr tiefen Temperatur für das Maximum der Lichtentwicklung bestimmend ist, zeigen folgende Versuche: Kühlt man in einer Mischung von fester Kohlensäure und absolutem Alkohol plötzlich auf -79^0 ab (Holborn), so wächst das Leuchten nur unbedeutend gegenüber dem bei $+18^0$, so schnell man auch die Abkühlung und Wiedererwärmung vornehmen mag. Beim Eintauchen in flüssige Luft beginnt das helle Leuchten erst lange nach dem Ablauf des Leidenfrostschen Phänomens. Zu dieser Zeit kann eine grosse Temperaturdifferenz nicht mehr vorhanden sein. Wird das Pulver nicht in ein sehr dünnwandiges, nur 5 mm weites Probierrohr gebracht, sondern in ein weiteres, so kann man es leicht erreichen, dass das Innere des weiteren Rohres gerade eben die Temperatur des stärksten Leuchtens annimmt. Dieser Zustand bleibt dann unbegrenzt lange bestehen.

Das Urannitrat schliesst sich also dem bekannten Verhalten anderer Phosphore darin vollständig an, dass seine Strahlung für eine bestimmte hier sehr tiefe Temperatur ein Maximum hat.

Soweit unmittelbare Beobachtung einen Schluss zulässt, fällt die stärkste Tribolumineszenz (lebhaftes Knistern und Funkensprühen, Sprengen des Krystalls) mit dem hellsten Phosphoreszieren zusammen. Es wäre möglich, dass an diesem Punkte auch das Dichtemaximum der Substanz liegt. — Ähnlich wie Urannitrat verhalten sich Uransulfat und Uranylfluorid.

2. Von anderen Substanzen, die ich untersucht habe, sind besonders interessant diejenigen, die bei gewöhnlicher Temperatur kein Eigenlicht

1) Dewar, Nature **64**, 243, 1901.
2) Becquerel, C. R. **133**, 199, 1901.

aussenden, wie es die Uranverbindungen thun, und die dennoch ohne jede vorherige Erregung durch Lichtstrahlen bei starker Abkühlung lebhaft lumineszieren. Hierhin gehören Baryumplatincyanür, Calciumplatincyanür und Pentadecylparatolylketon. Alle drei Substanzen sind durch Kathodenstrahlen erregbar, die beiden ersten auch durch Röntgenstrahlen.

Von dem Keton wurden zwei Proben verschiedener Reinheit untersucht, von denen die weniger reine wohl in Kathodenstrahlen, aber nicht in Röntgenstrahlen leuchtete, während die sorgfältig gereinigte weder in Kathodenstrahlen noch in Röntgenstrahlen erregt wurde.[1]) Alle vier Körper haben beim Eintauchen in flüssige Luft eine kurze Periode sehr heller Phosphoreszenz, die in der Nähe von -193^0 liegt. Ist aber diese Temperatur dauernd vorhanden, so sind sie dunkel, um erst beim Erwärmen wieder für kurze Zeit aufzuleuchten. Alle vier Körper leuchten nicht bei -79^0.

Die beiden Ketone zeigen schon bei gewöhnlicher Temperatur lebhafte Tribolumineszenz. Das Leuchten beim Abkühlen bleibt auch hier in fein pulverisiertem Zustande der Körper bestehen.

Quarze, die beim Schlagen leuchten, und zwar derbe Rosenquarze und vollkommen ausgebildete Krystalle, werden beim Abkühlen mit flüssiger Luft nicht erregt. Sie leuchten dagegen dann bei schwacher Berührung oder sehr gelinder Reibung.

Eis ist tribolumineszierend. Zerbricht man eine dünne Eisplatte von -20^0, so tritt kein Leuchten auf. Bringt man aber eine Eisplatte in flüssige Luft, so zerspringt beim Abkühlen die Platte plötzlich unter lebhafter Lichtentwicklung. Der Versuch wird besonders deutlich, wenn man die Eisplatte in die Mitte eines halbkugeligen Dewar-Gefässes hält. Im Momente des Zerspringens leuchtet dann infolge der Reflexion an der Silberbelegung die ganze Schale.

3. Das Leuchten und Knistern von Urannitratkrystallen bei starker Abkühlung erinnert so sehr an elektrische Entladungsvorgänge, dass Dewar darin eine starke pyroelektrische Erregung sah. In der That haftet ein Krystall infolge seiner elektrischen Ladung mit sehr grosser Kraft an der Wand des Dewarschen Gefässes, wenn er derselben zu nahe gekommen ist. Das Abkühlen soll nach Dewar elektrische Entladungen zwischen den Krystallmolekülen zu stande bringen. Da flüssige Luft ausgezeichnet isoliert, hätte man hier eine sehr einfache Form des von Herrn Riecke[2]) angegebenen pyroelektrischen Fundamentalversuches, nach welchem ein Krystall die während der Erwärmung oder Abkühlung gewonnene Ladung im isolierenden Medium dauernd behält. Auch die Tribolumineszenz des Eises beim Abkühlen kann als eine rein pyroelektrische Entladung gedeutet werden. Ebensogut können piëzoelektrische Vorgänge infolge der molekularen Veränderungen bei der plötzlichen energischen Kontraktion und Ausdehnung zur Erklärung herangezogen werden.

1) Precht, Wied. Ann. 61, 330, 1897.
2) Riecke, Wied. Ann. 31, 889, 1887.

Auch das geschmolzene Pentadecylparatolylketon, das sich nach dem Abkühlen unter dem Polarisationsmikroskop krystallinisch erweist, würde dieser Auffassung kaum prinzipielle Schwierigkeiten darbieten. Das Keton wird noch stärker elektrisch als Urannitrat und zeigt das stärkste Leuchten in dem Augenblicke, in welchem ein deutliches Krachen plötzliche Veränderungen des molekularen Gefüges verrät.

Eine Reihe elektrischer Versuche habe ich in der Weise angestellt, dass der zu prüfende Körper in einer isolierten mit einem Exnerschen Elektroskope verbundenen kleinen Metalldose in flüssiger Luft abgekühlt und dann das Dewarsche Gefäss entfernt wurde. Bisweilen wurde der Körper auch direkt mit einem isoliert befestigten Metalldrahte umwickelt und eingetaucht.

Von Fehlerquellen durch Eisreibung u. s. w. wird man frei durch Filtrieren der flüssigen Luft. Eingetauchte Metalle bekommen dann keine Ladung.[1]) Wird ein Stück Keton längere Zeit abgekühlt und das Dewar-Gefäss entfernt, so erhält man erst einen momentanen Ausschlag des Elektroskopes von positiver Elektrizität, dann bleiben die Blättchen auf Null und nach etwa 12 bis 20 Sekunden erhält man plötzlich einen starken Ausschlag von negativer Elektrizität. Oft schlagen die Blättchen zweimal unter Entladung an das Gehäuse. Bringt man das Keton in die Metallbüchse, so beobachtet man nur die momentane negative Ladung nach der gleichen Zeit wie oben. Ist die Erregung schwach, so wächst eine erteilte negative Ladung momentan und dann stellt sich der frühere Ausschlag wieder her. Wichtig ist, dass der Ausschlag von negativer Elektrizität stets gleichzeitig mit dem hörbaren Krachen der Substanz erfolgt, und Beobachtung im Dunkeln zeigt, dass dieser Augenblick auch der maximaler Lichtentwicklung ist. Die Erscheinungen sind unabhängig von der Kondensation von Feuchtigkeit und Eisbildung an der Oberfläche.

Wesentlich anders verhält sich Urannitrat. Füllt man die Dose mit Krystallen, kühlt ab und lädt negativ, so bleibt die negative Ladung beim Entfernen der flüssigen Luft eine Weile ungestört bestehen. Erst wenn das prasselnde Knistern der zerspringenden Krystalle zu hören ist, fallen die Elektroskopblättchen momentan zusammen. Auch hier ist also das stärkste

1) Vgl. Ebert u. Hofmann, Sitzgsber. Bayr. Ak. 30, 1–13, 1900.

Leuchten mit der elektrischen Störung gleichzeitig, aber der Sinn der Elektrisierung ist entgegengesetzt. Mit der Radioaktivität des Uransalzes hat die Erscheinung nichts zu thun. Fein pulverisiertes Urannitrat giebt nach Abkühlung keine plötzliche Abnahme einer negativen Ladung, überhaupt keine mit dem Auge unmittelbar wahrnehmbare Änderung am Elektroskope.

Durch starke Abkühlung kann man also bei gewissen Körpern Zersprengen des molekularen Gefüges verbunden mit lebhafter Tribolumineszenz und plötzlichen Potentialänderungen beobachten.

Dass ein Zusammenhang zwischen der Tribolumineszenz und der geschilderten Potentialänderung besteht, lässt sich, wenn auch in etwas weniger reiner Form, folgendermassen zeigen: auf eine grosse isolierte Metallplatte bringt man eine beträchtliche Menge Urannitratkrystalle und setzt darauf ein Porzellanpistill mit isolierender Handhabe. Die Platte wird mit einem233 Curieschen Elektroskope verbunden. Entladungszeit für 55 Volt im Mittel 53,3 Sekunden. Wird das Pistill bewegt, ohne die Krystalle zu zerdrücken, so tritt keine Änderung ein. Zerdrückt man die Krystalle, so erhält man eine mittlere Entladungszeit von 43,9 Sekunden für 55 Volt. Dass durch das Zerkleinern die strahlende Fläche grösser wird, ist kein stichhaltiger Einwand, denn man kann diese Veränderung sehr klein halten gegen die gesamte Fläche.

Wird ein Urannitratkrystall oder das Keton in Stanniol eingehüllt, so ist keine Änderung des Leuchtens beim Abkühlen zu bemerken; auch zeigen kleine Urannitratkrystalle, mit dem gleichen Volumen Magnesiumpulver vermischt, keine Verminderung der Tribolumineszenz.

Die der Voigtschen Theorie der Pyro- und Piëzoelektrizität zu Grunde liegenden Annahmen können von manchen der beschriebenen Erscheinungen eine ungezwungene Erklärung geben.

Hannover, Physik. Institut der Techn. Hochschule, 16. Juni 1902.

(Eingegangen 21. Juni 1902.)

Über durch Beugung und verwandte Ursachen in den Dünsten der rauchenden Schwefel- wie Salpetersäure hervorgerufene Lichterscheinungen.

Von K. v. Wesendonk.

Bei Gelegenheit einer Untersuchung über die Einwirkung rauchender Flüssigkeiten auf die elektrische Aktivität von Flammengasen, fand Verf. eine merkwürdige Verschiedenheit in dem Verhalten der Dünste, welche rauchender Salpetersäure und rauchender Schwefelsäure entstammen.[1]) Wenn beim Durchleiten der Verbrennungsprodukte durch die genannten Substanzen ein dichter Qualm entstand, so war das Leitvermögen jener nahezu zerstört, dabei erwies sich die rauchende Schwefelsäure noch als etwas wirksamer als die rauchende Salpetersäure.[1]) Wurden nun die Flammengase, bevor sie das Acidum nitricum fumans passierten, durch gewöhnliche reine Schwefelsäure geleitet, so entstand kein Qualm mehr, sondern nur ein mehr oder weniger mit nebligen Dünsten erfüllter gelbroter Dampf. Dabei blieb ein erheblicher Teil des Leitvermögens bestehen. Liess man erst dichten Qualm sich bilden und leitete alsdann diesen durch reine Schwefelsäure, so zeigte sich ebenfalls ein beträchtlicher Teil der elektrischen Aktivität als noch vorhanden. Nahm man dagegen entsprechende Manipulationen mit der rauchenden Schwefelsäure vor, so fand sich, dass ein durchsichtiger Rauch das Leitvermögen merklich ebensoweit aufhob, wie ein dichter opaker Qualm. Verf. hat bisher auf eine Erklärung dieser Erscheinung verzichtet, aber bereits gelegentlich darauf hingewiesen[2]), dass von den zufällig seiner Zeit wahrgenommenen Beugungsfarben einige Auskunft eventuell zu erwarten sei. Der Versuch indessen, in bekannter Weise angestellt, indem man durch einen mit dem betreffenden Rauch, Dampf, Qualm etc. angefüllten Glaskolben oder Flasche nach einem sehr hellen Lichtpunkte (wie Spiegelbild der Sonne in einem Uhrglase etc.) blickte, ergab zunächst nur wenig befriedigende Resultate. Es erschien daher zur Orientierung auf dem fraglichen Gebiete nützlich, zunächst einige der so schönen Experimente von Herrn Kiessling[3]) zu wiederholen, was mit gutem Erfolge gelang. Nunmehr wurden die Dämpfe der rauchenden Säure, wie sie sich von selbst bildeten, oder wie sie infolge eines die betreffenden Flüssigkeiten durchsetzenden Luft- oder Flammengasstromes[4]) entstanden, in ganz entsprechender Weise untersucht. Man blickte durch den erhaltenen Nebel resp. Dunst oder Dampf entweder direkt nach dem in einem Heliostaten sich zeigenden Sonnenbilde, oder nach einer sehr hell erleuchteten, in einem opaken Schirme passend angebrachten mit Pauspapier überzogenen Öffnung, oder man leitete die mit Hilfe zweier Linsen nahe parallel gemachten Sonnenstrahlen hindurch, oder verwendete endlich den von einer grossen Linse gelieferten (Sonnen-)Lichtkegel.

1) Naturw. Rundsch. **15**, 261, 1900; Beibl. **24**, 839, 1900.

1) Beide Substanzen wurden aus der Fabrik von Schering bezogen.

2) Diese Z. **2**, 517 u. 518, 1901.

3) J. Kiessling, Die Dämmerungserscheinungen etc., Hamburg, Leop. Voss, 1885, ferner die grössere Schrift desselben Verf., Untersuchungen über Dämmerungserscheinungen, ebenda 1888.

4) Die Flammengase wurden von einem Aspirator angesogen und mit Eis gekühlt, wie Wied. Ann. **66**, 123, 1898 angegeben. Der dort gezeichnete Kolben KK, in dem der Qualm sich bildete, hatte (wie bei Kiessling) meist 10 Liter Inhalt.

In beiden letzteren Fällen war auch eine objektive Beobachtung ermöglicht, die bei den von Herrn Kiessling beschriebenen Versuchen sehr schön auszuführen waren. Zunächst zeigte sich deutlich ein ausgeprägter Unterschied zwischen den Exhalationen der beiden Säuren. Die Dünste, ebenso wie der fast durchsichtige Rauch, und der dichte Qualm, welcher rauchender Schwefelsäure entstammten, sie alle zeigten, von hellen Lichtstrahlen durchsetzt (besonders deutlich natürlich in einem intensiven Strahlenkegel oder Bündel), den Charakter eines Nebels, einer Ansammlung suspendierter feiner Teilchen: man hat stets eine Erscheinung vor sich, welche an den von den sogenannten Sonnenstäubchen gewährten allbekannten Anblick erinnert. Selbst mit Schwefelsäure getrocknete Luft giebt durch Acidum sulfuricum fumans getrieben noch einen solchen Dunst. Dieser passiert auch seinerseits wieder Schwefelsäure, ohne seine Konstitution zu verlieren, er wird höchstens etwas weniger dicht. Dabei besteht aber dieser über Schwefelsäure in einem Glaskolben aufgefangene neblige Dunst nicht etwa lediglich aus an und für sich in der (nicht filtrierten) Luft schwebenden Teilchen. Bläst man nämlich gewöhnliche Luft durch die Schwefelsäure hindurch in den betreffenden Glaskolben hinein, so verschwindet allmählich der Sonnenstäubchen-Anblick fast vollständig, kehrt aber sofort wieder, wenn die Luft (sogar getrocknet) [1]) rauchende Schwefelsäure passiert hat, bevor sie in den Glaskolben eintritt. Die Exhalationen, um die es sich hier handelt, scheinen in gewissem Sinne den Salmiaknebeln und ähnlichen Gebilden in ihrer Konstitution verwandt zu sein, sie zeigen denn auch sehr schön die sogenannte rote und blaue Sonne. Der dichte weissliche Nebel, wie ihn ungetrocknete Flammengase aus rauchender Schwefelsäure reichlich entwickeln, zeigt, wenn noch frisch, das Sonnenbild deutlich gelbrot, was auch objektiv zu konstatieren ist. Ein heller Strahlenkegel leuchtet auch innerhalb des Dunstes bereits rötlich, dagegen zeigt sein Eintrittsquerschnitt graublaue Färbung. Es wird also bläuliches Licht allem Anscheine nach reflektiert, was ganz den Rayleighschen Ansichten über die Entstehung des Abendrotes etc. entspricht. Die frischen Nebelteilchen sind eben in unserem Falle von sehr geringer Ausdehnung; sie geben noch keine eigentlichen Beugungsphänomene. Sehr bald ändert sich aber das Aussehen des Sonnenbildes ins Bläuliche und erscheint mit der Zeit entschieden blau. Jetzt wird aber nicht etwa rötliches oder gelbliches Licht an den Eintrittsstellen der Lichtstrahlen reflektiert, sondern diese sehen auch noch blau aus; die wohl allmählich grösser gewordenen Partikelchen wirken also nicht mehr nach der von Rayleigh geschilderten Art auf das Licht ein. Man hat es vielleicht schon mit einer Beugungserscheinung oder einem nahe verwandten Phänomen zu thun, denn die blaue Sonne [1]) zeigt sich durchaus nicht nur bei Nebeln und Staubwolken, die aus besonders kleinen Teilchen bestehen. Zur Demonstration der roten und blauen Sonne dürften übrigens die Nebel der rauchenden Schwefelsäure recht geeignet sein, da sie die betreffenden Erscheinungen sehr schön zeigen und leicht zu erhalten sind.

Mit der Zeit präsentiert sich das centrale Bild immer weisslicher, aber von einer bläulichen Scheibe umgeben, die ihrerseits wieder innerhalb einer sehr ausgedehnten, allerdings nur schwach leuchtenden grauroten Aureole liegt. Diese ist nur wenig scharf begrenzt, erscheint mehr als ein rötlicher Schimmer, der die blaue Centralerscheinung umgiebt. Dementsprechend sieht man denn auch in der Umgebung eines intensiven, den Nebel durchsetzenden Strahlenbündels den Nebel graurot leuchten, welche Färbung wiederum mit der Zeit in ein gesättigteres Rot sich umwandelt. Hand in Hand damit vergeht die blaue Färbung der mittleren Teile mehr und mehr, die Aureole erscheint kleiner und in gesättigterem Rot und schärfer begrenzt, das Centrum selbst ist dann weiss oder fast weiss geworden.

Nach einer von Herrn Hagenbach [2]) angegebenen Methode wurde eine ganz rohe Bestimmung des Winkeldurchmessers besagter Aureole ausgeführt, er ergab sich in einem vorgerückten Stadium der Entwicklung zu ca. 22^0. [3]) Das deutet auf relativ recht kleine Partikel hin, womit das langsame Herabsinken des Nebels gut harmoniert. Bei diesem Herabsinken sieht man deutlich, dass die Aureole nur soweit reicht, als der Nebel noch vorhanden, im oberen Teil des Glaskolbens erscheint eine diffraktionsfreie Zone, darunter der rötlich leuchtende Nebel, dessen Farbe die meiste Sättigung oben aufweist, von wo sie dann allmählich weiter nach unten fortschreitet, bis das ganze Gefäss in gesättigtem Rot leuchtet, soweit es dann überhaupt noch von Nebel erfüllt ist.

Die grösseren, schneller niedersinkenden Teilchen sind jedenfalls in diesem Schlussstadium bereits aus dem Dunste entfernt, das gesättigte Rot entspricht offenbar einem homogeneren Nebel.

Beugungsringe ausserhalb der Grenze der Aureole wurden nie bemerkt, auch war diese Aureole

1) Es soll damit nicht behauptet werden, dass nicht Spuren von Feuchtigkeit dazu doch noch erforderlich sind.

1) Vergl. Wesendonk, Naturw. Rundsch. 16, 573, 1901.

2) Müller-Peters, Kosmische Physik, Braunschweig 1894, 461.

3) Nach Pernter berechnet sich daraus der Durchmesser d der beugenden Teilchen aus $\sin 11^0 = \frac{1,22 \cdot 0,00057}{d}$ zu 0,00364 mm. Dies dürfte ungefähr den kleinsten Teilchen entsprechen, die im Nebel vorkommen und die im gesättigten Rot leuchten. Meteorolog. Zeitschr. 6, 401—9, 1889.

nur relativ wenig hell, so dass sie objektiv nur schwierig zu beobachten war[1]), während Kiesslings Diffraktionsbilder (Aureole und zwei Ringe) sehr gut objektiv in Erscheinung traten. Allem Anscheine nach hat man es hier (und ebenso bei den gleich zu erwähnenden Phänomenen der rauchenden Salpetersäure) mit einer wegen der zu grossen Ungleichheit der lichtbeugenden Teilchen auf die Aureole allein reduzierten Fraunhoferschen Ringerscheinung zu thun, wie dies Pernter und Mc Connel für den Bishopschen Ring gezeigt haben. Offenbar hat man den rauchartigen, nicht homogenen Nebel Kiesslings vor sich. (l. c. 37 u. 49. Vergl. Lemme, Naturw. Rundsch. 16, 623, 1901.)

Einigermassen verschieden hiervon ist das Verhalten der Exhalationen der rauchenden Salpetersäure. Diese liefert einen gelbroten Dampf, der durchgehendes weisses Licht ziemlich stark färbt, aber an sich durchaus nicht den Sonnenstäubchen-Anblick gewährt. Leitet man Flammengase in ungetrocknetem oder gar angefeuchtetem Zustande hindurch, so entsteht ein dichter Qualm von gelblich-weissem Aussehen, der aber Schwefelsäure kaum zu passieren vermag. Treibt man daher solchen Qualm durch Schwefelsäure oder auch trocknet man die Verbrennungsprodukte, bevor sie durch rauchende Salpetersäure perlen, so erhält man unter Umständen fast reinen gelbroten Dampf. Da es nun gerade neblige oder rauchartige, aus suspendierten Partikeln bestehende Dünste sind, welche die Aktivität der Luft aufzuheben so sehr geeignet erscheinen, so erklärt sich hieraus die oben erwähnte Verschiedenheit in dem Verhalten der beiden rauchenden Säuren. Die Exhalationen des Acidum sulfuricum fumans sind eben auch im durchsichtigen Zustande noch reich genug an darin schwebenden (nicht gasförmigen) Teilchen, um die Leitfähigkeit der Luft fast ganz aufzuheben, während der mit Nebel etc. nur wenig erfüllte Dampf des Acidum nitricum fumans jedenfalls von viel geringerer Wirkung ist. Die der herrschenden Anschauung gemäss von dem Nebel resp. den suspendierten Teilchen festgehaltenen Ionen resp. Elektronen werden eben wieder zum grossen Teile frei, wenn der Qualm Schwefelsäure durchströmt, in welcher dieser zwar zerstört wird, nicht aber jene untergehen. Daher vermögen sie denn die Leitfähigkeit der Luft mehr oder minder wieder herzustellen. Der Qualm sinkt ziemlich schnell zu Boden, besteht also wohl aus relativ grossen Partikeln. Die rotbraune Sonne ist hierbei nicht zu beobachten, vielmehr erscheint in dem dichten, durcheinander wirbelnden ganz frisch entwickelten Nebel (unter Umständen sehr schön wahrnehmbar) gleich die blaue Sonne. Die Erscheinung war am besten in einem kleineren Glaskolben zu sehen, der sich mit sehr dichtem, in starker Strömung befindlichen Qualm leicht erfüllen liess, der dann auch von einem hellen Strahlenkegel oder -Bündel durchsetzt schon in seinem Innern blau leuchtete. Sowohl nach dem Sonnenbilde im Heliostaten, wie besonders dem intensiven Strahlenkegel einer grossen Linse entlang blickend, gewahrt man sehr deutlich die blaue Erscheinung, die sich auch objektiv zeigt.

1) Allerdings wurden die objektiven Darstellungen nicht in einer Dunkelkammer versucht, sondern nur in einem etwas verdunkeltem Raume.

Hinderlich für die gute Ausbildung des Phänomens ist die gelbliche Färbung des Qualmes, die sich bei den Versuchen über rauchende Salpetersäure stets geltend macht. Hört man mit dem Entwickeln von Nebel auf, so geht denn auch die blaue Sonne bald in eine gelbliche[1]) über, um die sich herum ein graurötlicher Schimmer lagert, der sich bald zu einer roten Aureole verdichtet, die schnell an Durchmesser abnimmt, bis er schliesslich etwa $12^0 30'$ beträgt.[2]) Die nächste Umgebung des gelblichen Centrums erscheint bläulich, besonders bei noch frischerem Nebel, dann folgt wohl eine Art Purpur und ein gelblicher Saum, den unter Umständen bei genügender Helligkeit des Phänomens noch ein roter umgiebt. Die Aureole lässt sich auch objektiv gut beobachten, Beugungsringe dagegen zeigten sich weder subjektiv noch objektiv. Nur soweit Nebel noch im Glaskolben vorhanden, erscheint eine Aureole, der blosse, wenn auch stark gefärbte Dampf giebt keine solche. Eine Schichtung im Nebel von oben nach unten tritt ein wie bei der rauchenden Schwefelsäure und ist besonders daran zu erkennen, dass die Aureole, unten hindurchgesehen, kleiner erscheint als oben, offenbar weil die grösseren Nebelteilchen schneller zu Boden sinken. Will man die Wandlungen der Aureole studieren, so thut man übrigens gut, nicht zu dichten Nebel zu entwickeln, da er sonst zu opak wird und es dann leicht zu lange dauert, bis man die Beugungserscheinungen beobachten kann. Alsdann ist aber die Umänderung des frischen Nebels schon zu weit vorgeschritten, um noch eine ausgedehnte Aureole zu geben. Erwähnt sei endlich, dass bei beiden rauchenden Säuren die sogenannte grüne Sonne nicht zur Beobachtung kam.

1) Die natürlich mit der rotgelben sonst erwähnten nicht zu verwechseln ist.

2) Nach Pernter entspricht dem ein Durchmesser der Teilchen = 0,00638 mm.

Berlin, den 13. Juni 1902.

(Eingegangen 13. Juni 1902.)

MARINE BIOLOGICAL LABORATORY
WOODS HOLE
LIBRARY
MASS.

Notiz über Spitzenentladungen durch Teslaströme.

Von K. v. Wesendonk.

Die interessante Dissertation des Herrn Möhlmann[1]), welche mir freundlichst zur Verfügung gestellt wurde, veranlasst mich zu einigen Bemerkungen, die ich mir hiermit kurz darzulegen gestatte.

Bei statischer Ladung ist zwischen einer Spitze und Platte in Luft cet. par. der negative Strom besonders bei geringen Entfernungen der beiden Elektroden erheblich überwiegend. Bei alternierender gleicher Ladung einer Spitze würde man also ein Überwiegen der entladenen negativen Elektrizitätsmengen erwarten müssen, gerade, wenn die auffangende Platte nahe steht. Es scheint mir demnach, dass doch in dem Wechselzustande eine Besonderheit liegen muss, welche in erster Linie die positiven Teslaausströmungen bedingt.[2]) Zeigen ja doch auch abgeleitete Drähte, die von negativen Entladungen durchsetzt werden, positive Seitenentladungen[3]), obwohl also nur eine direkte negative Elektrisierung stattfand, nicht eine abwechselnd positive und negative wie sonst bei Teslaversuchen. Bei solchen Seitenausströmungen fand ich seiner Zeit mit einem Exnerschen Elektrometer, dass bei grösserem Abstande Spitze—Platte an letzterer negative Entladungen auftraten. Unter anderen Umständen zeigte sich keine negative Elektrizität mehr[4]), auch nicht mit einer ausgeschnittenen Scheibe, wie sie Herr Knoblauch angewandt. Umgab die auffangende Elektrode die Spitze völlig, so erhielt man auch noch positive Ladungen, es konnte also die negative Ausströmung nicht lediglich an dem auffangenden Teile vorübergegangen sein. Ich habe nun ferner mit einem Teslatransformator, wie ihn einst Herr Himstedt beschrieben[5]), einige Experimente angestellt. Auch hier erhielt ich Ausstrahlungen, die mit dem Exnerschen Elektrometer untersucht, nur positive Ladungen hervorbrachten, soweit überhaupt welche nachzuweisen waren. Wenn die Spitze frei in den Luftraum ausströmte, ergab weder eine seitlich aufgestellte Platte oder Sonde aus Draht oder Flammenkollektor noch eine ringförmig ausgeschnittene Scheibe negative Elektrizität. Stellte man aber relativ nahe vor die Spitze eine abgeleitete Scheibe, alsdann fand sich an seitlich angebrachten Auffangeapparaten sehr deutliche negative Ladung, ebenso wie an einer Ringscheibe. Hier war also in der That der centrale, überwiegend positive Strom gleichsam von einer negativen Hülle umgeben. Führte man aber die Spitze in ein isoliert aufgestelltes Metallgefäss ein, so nahm dieses doch wieder eine positive Gesamtladung an. Es wird also auch hier mehr positive Elektrizität entladen als negative, im Gegensatze zu dem Verhalten bei statischen Ladungen.

Berlin, den 18. Juni 1902.

(Eingegangen 19. Juni 1902.)

1) A. Möhlmann, Über Ausstrahlung hochgespannter Wechselströme von hoher Frequenz aus Spitzen. Inaug.-Diss. Freiburg i. Br., Speyer & Kaerner, 1901. Man vergl. übrigens Nichols, Phil. Mag. **31**, 123, 1891.

2) Höhere Spannungen können allerdings fördernd wirken, wie z. B. bei unseren Versuchen zu kleine Funkenstrecken ungünstig sind, aber der positive Teslaeffekt tritt auch bei recht kleinen Potentialen noch ein, wie in Naturw. Rundsch. **10**, 401 u. f., 1895, gezeigt.

3) Wesendonk, Wied. Ann. **66**, 341—345, 1898.

4) Mit Exnerschem Elektrometer. Es wurde dies konstatiert bei Gelegenheit der Versuche, welche in dieser Z. **2**, 529—30, 1901, beschrieben sind. Die Influenzmaschine war dabei nur mit ihren eigenen Verstärkungsflaschen verbunden.

5) Wied. Ann. **52**, 476, 1894.

Eine zerlegbare Tangentenbussole.

Von E. Grimsehl.

Die im folgenden beschriebene Tangentenbussole ist aus dem Wunsche entstanden, die Eichung einer Tangentenbussole ohne Ableitung des mathematischen Gesetzes vorzunehmen, daher ist die Bussole in erster Linie für den Elementar-Unterricht bestimmt, doch glaubt Verfasser, den Apparat auch weiteren Kreisen der Physiker bekannt geben zu können, da sich die beiden bei der Bussole ausgeführten Eichungsmethoden auch wohl auf mancherlei andere Apparate anwenden lassen werden.

Beschreibung des Apparates: Als wesentliches Merkmal ist bei dem Apparate das anzusehen, dass der kreisförmige Leiter von dem Gehäuse mit Magnetnadel, also von der eigentlichen Bussole losgelöst ist. Daher ist es möglich, den Leiter ohne Bussole und die Bussole ohne Leiter zu benutzen. Ferner aber kann man den einfachen Kreisleiter durch einen doppelten Kreisleiter von denselben Dimensionen ersetzen.

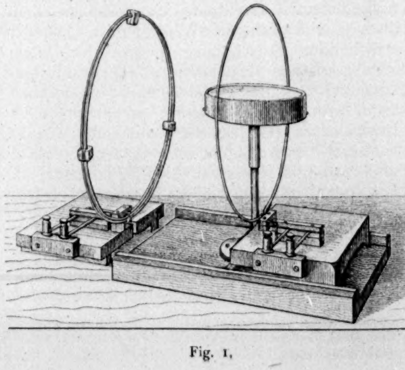

Fig. 1.

Demgemäss besteht die Tangentenbussole aus einem Grundbrett von 18×24 cm Grösse, in dessen Mitte eine Messingsäule von 12 cm Höhe unverrückbar befestigt ist, welche an ihrem oberen Ende eine Bussole gebräuchlicher Art mit spiegelnder Grundplatte, kurzer Magnetnadel und senkrecht dazu stehenden Aluminiumzeigern, die über einer in ganze Grade eingeteilten Gradteilung spielen, trägt. Das Grundbrett ist an den Längsseiten mit zwei schmalen Leisten versehen, die als Führung für die aufzusetzenden Kreisleiter dienen. In der Mitte der Leisten sorgt ein Anschlag dafür, dass die Leiter genau an einer vorgeschriebenen Stelle stehen.

Von den beiden benutzten Kreisleitern ist der eine einfach, der andere doppelt. Beide haben einen Radius von 10 cm. Sie endigen in zwei Zuleitungsklemmen, die seitlich nebeneinander so angebracht sind, dass die Zuführungsleitungen möglichst wenig Einfluss auf die Magnetnadel haben. Jeder der beiden Kreisleiter ist auf einem Brette von 10×15 cm Grösse mittels Fiberstreifen befestigt. Die Grösse der Bretter ist so bemessen, dass sie genau zwischen die Führungsleisten des grossen Grundbrettes passen und dass sie bis zum Anschlag vorgeschoben, die Leiter in eine Stellung bringen, wo Mittelpunkt der Magnetnadel und Mittelpunkt des Kreisleiters zusammenfallen.

Wenn beide Kreisleiter auf dem Grundbrette stehen, so liegen sie unmittelbar aneinander, sind aber vor leitender Berührung durch kleine Fiberstückchen, die auch die beiden Kreise des Doppelleiters voneinander trennen, voneinander isoliert. Die Zuleitungsklemmen sind so angebracht, dass bei gleichzeitiger Aufstellung beider Kreisleiter die Klemmen auf derselben Seite des Apparates liegen. Die Figur 1 zeigt die

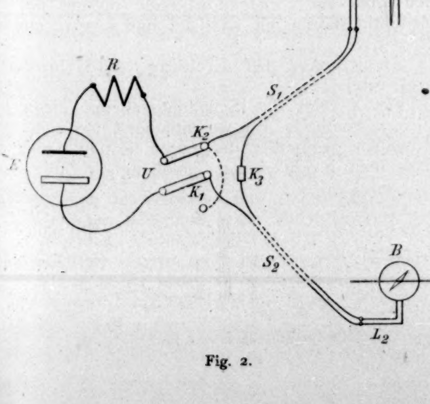

Fig. 2.

Tangentenbussole mit dem aufgesetzten einfachen Leiter, während der Doppelleiter getrennt davon neben der Bussole steht.

Erste Art der Eichung (Multiplikationsmethode): Fig. 2 zeigt das Schema der Schaltung. Die beiden Pole einer konstanten Stromquelle E (eines einzelnen Akkumulators) sind einerseits mit der einen Zuleitungsklemme eines Umschalters U, andererseits mit dem Rheostaten R verbunden. Die freie Klemme des Rheostaten ist mit der zweiten Zuleitungsklemme des Umschalters verbunden. Zwischen den beiden Ableitungsklemmen K_1 und K_2 des Umschalters sei noch die Verbindungsklemme K_3 angebracht. Nun wird K_1 und K_3 durch eine ungefähr 2 m lange Doppelleitungsschnur S_1 mit den Klemmen des einfachen Kreisleiters L_1 verbunden, ebenso K_2 und K_3 durch eine ebensolche Doppelleitungsschnur S_2 mit den Klemmen des doppelten Kreisleiters L_2. Bei dieser Anordnung fliesst daher ein vom Akkumulator E ausgehender und durch R regulierter Strom hintereinander durch die Leitungen L_1 und L_2. Man kann also sicher sagen, dass die in L_1 und L_2 fliessenden Stöme absolut genau gleich sind. Wenn nun der stromdurchflossene Leiter L_1 eine gewisse magnetische Wirkung hervorruft, so ruft der Leiter L_2, an dieselbe Stelle gebracht, eine Wirkung hervor, die von der doppelten Stromstärke herrührt; bringt man beide Leiter L_1 und L_2 an dieselbe Stelle des Raumes, so entspricht die gemeinsame Wirkung der beiden Leiter der dreifachen Stromstärke.

Nachdem man die Bussole B nach dem magnetischen Meridian orientiert hat, stelle man den einfachen Leiter um die Bussole, schliesse den Strom und schalte so viel Widerstand ein, dass die Ablenkung 6^0 erzeugt wird. Der Doppelleiter steht vom selben Strome durchflossen seitlich in 3—4 m Entfernung, so dass er keinerlei Wirkung auf die Magnetnadel ausübt. Nun nehme man den Leiter L_1 fort und stelle L_2 an dessen Stelle, ohne aber an der Einstellung von R irgend etwas zu ändern. Jetzt erfolgt, durch die doppelte Stromwirkung hervorgerufen, die Ablenkung von $11\frac{1}{2}^0$. Endlich stelle man, wieder ohne an der Stromstärke etwas zu ändern, L_1 und L_2 gleichzeitig an die Bussole. Die dreifache Stromstärke erzeugt jetzt die Ablenkung 17^0. Tabellarisch zusammengestellt ergiebt sich:

Stromstärke	Ablenkung
1	6^0
2	$11\frac{1}{2}^0$
3	17^0.

Zur Kontrolle und zum Ausgleich von Beobachtungsfehlern kann man dieselbe Versuchsreihe mit umgekehrter Stromrichtung noch einmal wiederholen.

Nun mache man eine zweite Versuchsreihe.

Man stelle den einfachen Stromleiter wieder an die Bussole und entferne den Doppelleiter. Darauf reguliere man R so, dass der Leiter L_1 allein die Ablenkung $11\frac{1}{2}^0$ hervorruft. Vertauscht man darauf den einfachen Leiter mit dem Doppelleiter, ohne etwas an der Stromstärke zu ändern, so ruft L_2 die Ablenkung 22^0 und die beiden Leiter L_1 und L_2 zusammen die Ablenkung 31^0 hervor. Offenbar ist bei der ganzen zweiten Versuchsreihe die Stromstärke doppelt so gross gewesen, wie bei der ersten Versuchsreihe, daher rührt die Ablenkung $11\frac{1}{2}^0$, 22^0, 31^0 von den Stromstärken: 2, 4, 6 her. Die Beobachtungsresultate werden der Tabelle aus der ersten Versuchsreihe zugefügt. Eine dritte Versuchsreihe beginnt damit, dass man den Strom mittels R so einreguliert, dass der Leiter L_1 allein die Ablenkung 17^0 erzeugt. Es herrscht jetzt im ganzen Stromkreise die Stromstärke 3 (wie sich aus den Beobachtungen der ersten Versuchsreihe ergiebt). Die von L_1 allein, von L_2 allein und von L_1 und L_2 zusammen erzeugten Ablenkungen werden abgelesen. Die Resultate sind, dass den Stromstärken 3, 6, 9 die Ablenkungen 17^0, 31^0, 42^0 entsprechen. Eine vierte Versuchsreihe beginnt mit der Ablenkung 22^0 beim einfachen Leiter. Die Versuchsresultate sind: die Stromstärken 4, 8, 12 bringen die Ablenkungen 22^0, $38\frac{1}{2}^0$, $48\frac{1}{2}^0$ hervor.

In derselben Weise fortfahrend erhält man alle Stromstärken, die durch solche Zahlen ausgedrückt werden, die die Faktoren 1, 2 und 3 haben.

Folgende Tabelle enthält alle nach diesem Verfahren messbaren Stromstärken von 1 bis 64 mit den zugehörigen Ablenkungen:

Stromstärke	Ablenkung
1	6^0
2	$11\frac{1}{2}^0$
3	17^0
4	22^0
6	31^0
8	$38\frac{1}{2}^0$
9	42^0
12	50^0
16	58^0
18	61^0
24	$67\frac{1}{2}^0$
27	$69\frac{1}{2}^0$
32	73^0
36	$74\frac{1}{2}^0$
48	78^0
54	$79\frac{1}{2}^0$
64	81^0.

Diese Beobachtungsresultate benutzt man dann zur Konstruktion einer Kurve, bei der die Ablenkungen die Abszissen und die zugehörigen Stromstärken die Ordinaten sind. Die beobachteten Werte ergeben hinreichend nahe liegende Punkte, um die Kurven mit grösster Sorgfalt auszeichnen zu können.

Fig. 3 zeigt die nach den Beobachtungen gezeichnete Kurve. Die beobachteten Punkte sind durch kleine Kreuze angedeutet. Die Kurve ist natürlich nichts anderes als die Tangenten-

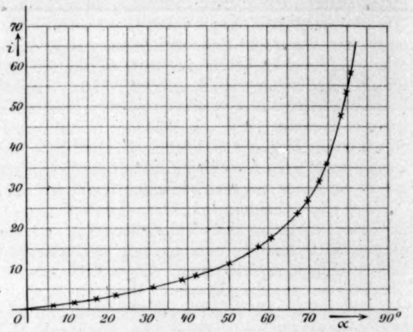

Fig. 3.

kurve, aber es ist bemerkenswert, wie genau die auf diesem empirischen Wege gezeichnete Kurve mit der errechneten Tangentenkurve übereinstimmt. Die Wahl des Anfangswinkels von 6^0 ist damit begründet, dass $tg\,6^0$ nahezu gleich 0,1 ist. Natürlich kann man auch jeden anderen Anfangswert benutzen.

Man kann jetzt die gezeichnete Kurve unmittelbar benutzen, um die Stromstärke eines unbekannten Stromes, der eine beobachtete Ablenkung erzeugt, direkt abzulesen. Will man die Stromstärke nicht durch die bei den Eichungsversuchen willkürlich gewählte Einheit ausdrücken, sondern z. B. in Ampère, so braucht man nur durch eine oder einige Beobachtungen mit bekannten Stromstärken den Reduktionsfaktor durch den Versuch zu bestimmen, wenn man ihn nicht mittels der Formel $\frac{5rH}{\pi}$ berechnen will. Im vorliegenden Falle beträgt der Reduktionsfaktor für $H = 0{,}2$ und $r = 10$ cm $R = 3{,}18$.

Zweite Art der Eichung (Additionsmethode):

Fig. 4 zeigt das Schaltungsschema dieser Eichungsmethode. Ein wesentlicher Unterschied derselben gegenüber der ersten besteht darin, dass man hierzu zweier unabhängiger Strom-

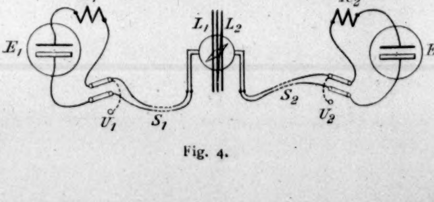

Fig. 4.

kreise bedarf, von denen der eine durch einen Rheostaten regulierbar den Leiter L_1, der andere ebenfalls regulierbar den Leiter L_2 durchfliesst. Hierbei stehen beide Kreisleiter gleichzeitig an der Bussole.

Die Stromquelle E_1 steht durch den Rheostaten R_1, den Umschalter U_1 und die Doppelleitungsschnur S_1 mit dem Leiter L_1 in dauernder Verbindung. Ebenso fliesst der von E_2 ausgehende Strom durch den Rheostaten R_2, den Umschalter U_2, die Doppelschnur S_2 und den Doppelleiter L_2.

Diese zweite Eichungsmethode erinnert entfernt an die von Kolbe angewandte Methode der Eichung eines Galvanometers, insofern zu der Wirkung eines Stromkreises immer derselbe konstante Summand hinzugefügt wird[1]), weicht aber darin wesentlich von der Kolbeschen Methode ab, dass kein Hilfsmagnet angewandt wird, sondern dass die Summierung der Stromwirkungen durch elektrische Ströme hervorgerufen wird, die genau an der Stelle wirken, an der beim Gebrauch auch die zu messenden Ströme die Ablenkungen hervorrufen.

Zur Ausführung der Eichung schliesst man den Strom *I* und reguliert den Rheostaten so, bis der Kreisleiter L_1 wieder die Ablenkung 6^0 erzeugt. Nun öffnet man Stromkreis *I* ohne an der Stellung von R_1 irgend etwas zu ändern und schliesst Strom *II*. Auch hier reguliert man R_2 so lange, bis L_2 die Ablenkung 6^0 erzeugt.

Schliesst man jetzt beide Stromkreise, doch so, dass die beiden Ströme die Kreisleiter im entgegengesetzten Sinne durchfliessen, so darf kein Anschlag erfolgen, wenn beide Stromwirkungen gleich sind. Durchlaufen aber beide Ströme die Kreisleiter in derselben Richtung, so wird die Ablenkung $11\frac{1}{2}^0$ hervorgerufen. Diese Ablenkung wird also durch die doppelte Stromwirkung erzeugt, wie die Ablenkung von 6^0. Nun erzeugt man die Ablenkung von $11\frac{1}{2}^0$ durch Stromkreis *II* allein, indem man *I* öffnet und den Widerstand von R_2 passend verändert. Darauf schliesst man *I* auch. Die jetzt vorhandene dreifache Stromstärke erzeugt 17^0 Ablenkung. Dann wird diese Ablenkung wieder allein durch den Strom *II* bewirkt und darauf die Wirkung des immer noch unveränderten Stromes *I* hinzugefügt. So fortfahrend kann man allmählich die Wirkung jeder beliebigen Stromstärke ablesen. Ist man zu grösseren Stromstärken gekommen, so würde die stetige Addition des Stromes „eins" ermüdend werden. Man kann aber nun unter Benutzung der aus den ersten Versuchen bekannten Ablenkungen auch den Strom *I* auf irgend eine beliebige andere, früher beobachtete Stärke bringen, und demnach als willkürlichen Summanden eine grössere Zahl auswählen. Durch Umschalten der Stromrichtung von *I* kann man sogar einen Subtrahenden einführen, hat es also ganz in der Hand, an irgend einer beliebigen Stelle grosse, an einer anderen kleine Intervalle einzufügen. Die Beobachtungsresultate werden dann genau wie bei der ersten Eichungsmethode tabellarisch geordnet und zur Konstruktion einer Ablenkungskurve benutzt. Auch diese Additionsmethode ergiebt Resultate, die genau mit der Abhängigkeit $i = R \cdot tg\alpha$ übereinstimmen, solange man innerhalb der Grenzen bleibt, für welche das Gesetz noch gilt.

1) Koble, Einführung in die Elektrizitätslehre II, S. 67.

Schlussbemerkung: Die erste Methode der Eichung mit einem Stromkreise hat den Vorzug grösserer Genauigkeit, da man mehr als bei der zweiten Methode von den Schwankungen der Stromquellen unabhängig ist, weil man nur eine Stromquelle hat. Die zweite Methode zeichnet sich dadurch aus, dass sie anwendbar ist auf jedes Galvanometer, das zwei getrennte Wickelungen besitzt, also z. B. auf ein Differentialgalvanometer oder ein Vorlesungs-Wagegalvanometer mit zwei Wickelungen. Aber auch wenn nur eine Wickelung vorhanden ist, kann man leicht auf der vorhandenen Wickelung eine Hilfswickelung anbringen, die als konstanter Summand benutzt werden kann.

Die Eichung nach der Additionsmethode hat vor der Kolbeschen Eichungsmethode den Vorzug, dass bei der ganzen Versuchsreihe die Form des magnetischen Feldes immer unverändert dieselbe bleibt. Bei der Kolbeschen Methode kann man zwar erreichen, dass die Feldstärke, die ein Stromkreis erzeugt, an einem bestimmten Punkte gleich der Feldstärke ist, die von einem oder zwei Hilfsmagneten hervorgerufen ist. Dann stimmen aber gewiss wegen der Formverschiedenheit der beiden Felder die Feldstärken in einem benachbarten Punkte nicht mehr überein. Deshalb ist der durch die veränderte Stellung der Magnetnadel bei grösserer oder geringerer Ablenkung bedingte Ortsunterschied auch mit einem Unterschied in der Feldintensität verbunden. Diese Verschiedenheit kommt aber bei den oben ausgeführten Eichungsverfahren vollkommen in Wegfall, da die Form des Feldes stets ungeändert bleibt.[1])

1) Der Apparat ist von der optisch-mechanischen Firma A. Krüss-Hamburg, Adolphsbrücke, nach meinen Angaben gebaut und auch von dort zu beziehen.

(Eingegangen 2. Juni 1902.)

Mitteilungen aus dem physikalisch-mechanischen Institute von Prof. Dr. M. Th. Edelmann.

No. 1: M. Edelmann, Ein neuer Schulkompensator.

Die vielfache Verwendung des Kompensators, welche derselbe in neuerer Zeit in der Praxis

findet, liess es wünschenswert erscheinen, einen solchen speziell für Schulzwecke zu bauen. Hauptmomente hierbei sind natürlich Übersichtlichkeit, Billigkeit und universelle Anwendungsmöglichkeit.

Ich möchte zunächst eine kurze Beschreibung des Apparates, den Fig. 1 in Ansicht zeigt, geben. Er besteht im wesentlichen aus 37

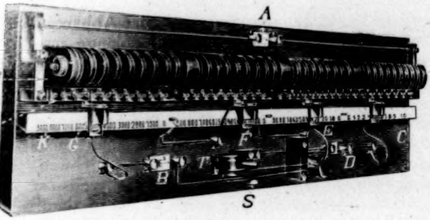

Fig. 1.

hintereinander geschalteten Widerstandsrollen, nämlich 9 × 1000, 9 × 100, 9 × 10 und 10 × 1 Ohm, also in Summa 10000 Ohm. Jeweils Anfang und Ende zweier benachbarter Widerstände sind an einen Messingklotz gelegt, über welche Messingklötze der Schleifkontakt zur Einstellung des benötigten Wertes gleitet. Jede Dekade bezw. Nonade wird von einem eigenen Schieber, nämlich *C*, *E*, *F* und *G* bedient. Hierdurch wird der für den Stromkreis der kleineren E. M. K. zu wählende Widerstand variiert. Die zwei mittleren Schieber *F* und *E* schliessen je nach Bedarf Teile der Gesamtsumme von 10000 Ohm kurz, worauf, wie später ausgeführt werden soll, wohl zu achten ist. Bei *A* wird die grössere E. M. K., bei *B* die kleinere eingeschaltet. *S* ist ein Stromschlüssel für E^2, welcher bei Lage des Riegels *T* wie in der Figur nur durch 10000 Ohm schliesst. Erst nach Umlegen von *T* nach links kann man den Strom durch Null schliessen, wobei der Schlüssel aber immer gezwungen ist, zuerst den Kontakt 10000 zu berühren. Dadurch wird der Beobachter sofort gegebenenfalls aufmerksam gemacht, dass die Kompensation noch lange nicht erreicht ist, während das Galvanometer nicht unnötig in Unruhe gerät. Das Galvanometer wird bei *D* angeschlossen. Auf der Figur unsichtbar ist auf der rechten Seite noch ein Schraubstromschlüssel für die E. M. K. E^1 angebracht. *H* ist eine Brücke aus Messing, an deren Stelle ein eventuell erforderlicher Ergänzungswiderstandssatz eingeschaltet werden kann. Der ganze Apparat ist auf ein Mahagonibrett von 89 cm Länge und 22 cm Breite mit Hartgummifüssen montiert. Sämtliche Leitungen sind offen und übersichtlich nach dem in den Schulen gebräuchlichen Schaltungsschema angeordnet. Der Apparat gestattet sämtliche gebräuchlichen Kompensationsmethoden, sowie Verwendung als Regulierwiderstand und dürfte nicht nur für Schulen ein äusserst instruktives Hilfsmittel, sondern auch für das Gebrauchslaboratorium ein willkommener Messapparat sein.

Bekanntermassen unterscheidet man zwischen einfacher und doppelter Kompensation, d. h. man kompensiert eine als Normale gedachte E. M. K. direkt oder indirekt unter Vermittelung einer konstanten Hilfsbatterie gegen eine unbekannte, also zu bestimmende E. M. K. Von den Weiterungen, die sich aus diesen Messungen ergeben, wie z. B. Eichung von Strom- und Spannungsmessern, will ich Abstand nehmen.

I. Einfache Kompensation.

Man schaltet die grössere E. M. K. an einen Gesamtwiderstand, längs dessen man in widerstandsvariabler Weise die zweite E. M. K. gleichfalls parallel unter Vorschaltung eines Galvanometers legt. Findet bei Stromschluss kein Ausschlag des Galvanometers statt, dann gilt die Beziehung:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{R_1}{R_2},$$

wobei unter R_1 der zu E_1 und unter R_2 der zu E_2 parallel gelegte Widerstandswert gedacht ist. Der Apparat wird nach Schaltung Fig. 2

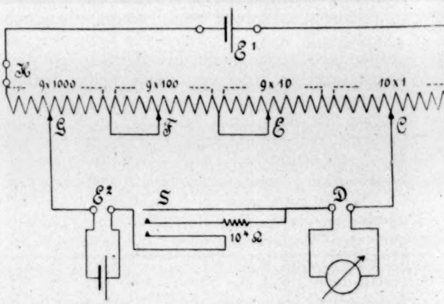

Fig. 2.

hierbei benützt. Beim numerischen Einsetzen des Wertes von R_1 ist der von den Schiebern *E* oder *F* kurzgeschlossene Widerstand von 10000 Ohm natürlich in Abzug zu bringen, während R_2 den direkt unter den Schieberausschnitten erscheinenden Wert darstellt. Steht Schieber *E* und *F* auf 0, dann sind von 10000 Ohm 900 bezw. 90 Ohm, bei Stellung 100 oder 10 800 bezw. 80 Ohm, bei Stellung 200 oder 20 700 bezw. 70 Ohm abzuziehen u. s. w.

Eine ausgeführte Kompensation eines Clark-Elementes gegen zwei Columbus-Trockenelemente

ergab unter Anwendung von Interpolation der Zehntel-Ohm folgende Resultate:

Schieberstellung	Ausschlag
4322	22 mm rechts
4323	3 „ links,

woraus sich als Kompensationswert ergiebt: $R_2 = 4322,88$ Ohm. R_1 rechnet sich dann wie folgt: Schieber G und C schliessen keine Werte kurz, also verbleiben zunächst 9010 Ohm. Schieber E stand auf 20, schloss also 70 Ohm kurz. Schieber F stand auf 300, schloss also

diese wiederum gegen eine unbekannte E. M. K. (E^2b) kompensiert. Es ergiebt sich dann:

$$\frac{E^1}{E^2a} = \frac{R_1}{R_2}$$

und

$$\frac{E^1}{E^2b} = \frac{R_1}{R_3},$$

woraus

$$\frac{E^2a}{E^2b} = \frac{R_2}{R_3}.$$

Diese Beziehung gilt aber nur, wenn für beide Messungen R_1 und E^1 konstant geblieben sind.

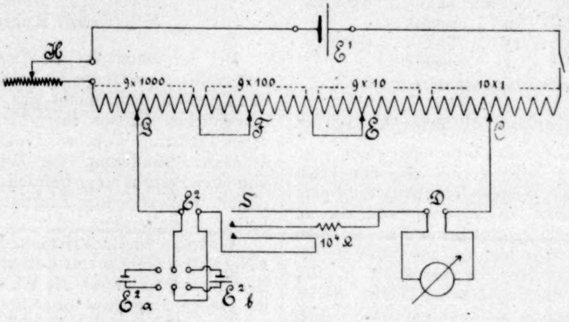

Fig. 3.

600 Ohm kurz. Es sind demnach also von 10000 Ohm 670 Ohm in Abzug zu bringen; mithin ist $R_1 = 9330$ Ohm. Die Berechnung von E_1 ergiebt alsdann (das Clark-Element hatte 17° C.) $E_1 = 3,08$ Volt. Mit dieser einfachen Kompensation wird man den Schüler zwecks Erklärung der Methoden überhaupt, sowie des Apparates als solchen beginnen lassen.

II. Doppelte Kompensation.

Diese beruht darauf, dass man eine bekannte E. M. K. (E^2a) gegen eine Hilfsbatterie (E^1) und

Deshalb nimmt man für E^1 Akkumulatoren oder gute Trockenelemente. R_1 wird dadurch konstant erhalten, dass man in einem bei H einzuschaltenden Rheostaten die Werte ergänzend zuschaltet, welche durch die Schieber E und F kurz geschlossen werden. Dadurch bleibt dann R_1 immer gleich 10000 Ohm. Diese Anordnung erläutert dem Schüler in augenscheinlichster Weise die Schaltung der Gebrauchskompensatoren mit automatischer Konstanthaltung von R_1 durch Doppelkurbel. Was also durch E und F ab- bezw. kurzgeschaltet wird, muss bei H

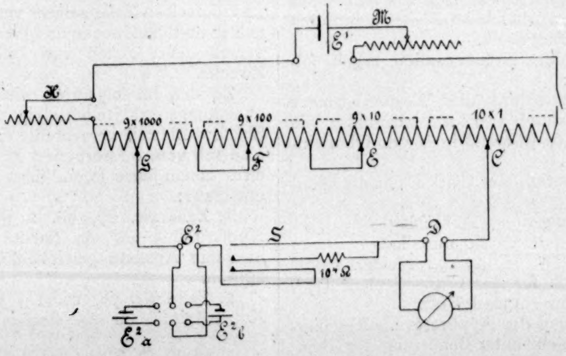

Fig. 4.

zugeschaltet werden. Schaltungsschema Fig. 3 zeigt die Anwendung des Apparates hierzu. Bei E^2 schalte man einen Quecksilberkommutator an, welcher die Vertauschung des Normalelementes mit der unbekannten E. M. K. gestattet.

Eine ausgeführte Kompensation von Weston-Element gegen Clark-Element (17°) ergab folgende Resultate:

Element	Schieberstellung	Ausschlag	Interpolierter Wert
Weston	6562	7 mm links	6561,22
	6561	2 „ rechts	
Clark	9223	15 „ links	9222,25
	9222	5 „ rechts	

E. M. K. des Clark-Elements = 1,432 Volt.

III. Kompensation bei direkter Ablesung.

Für den praktischen Gebrauch eicht man den Kompensator meist vorher aus, um direkt an demselben ohne weitere Rechnung die Spannungswerte ablesen zu können. Zu diesem Zwecke dient Schaltungsschema Fig. 4. Man schaltet vor E^1, das hier ca. 10—12 Volt betragen muss, einen Regulierwiderstand M. Sodann stellt man die Schieber auf Werte, die im direkten dekadischen Verhältnisse unter Ausnützung sämtlicher Stellen, z. B. Weston-Element (= 1,019 Volt) auf 1019 ein, ergänzt bei H die durch F und E etwa kurzgeschlossenen Werte der Hunderter- oder Zehnernonade und reguliert nun bei M so lange, bis das Galvanometer bei Stromschluss mit S auf O verbleibt. Damit ist der Apparat ausgeeicht, die Stellung bezw. der Wert von M darf während der Messungen nicht mehr verändert werden. Schaltet man nun bei E^2 eine unbekannte E. M. K. ein und kompensiert aus, wobei man wiederum selbstverständlich die durch E und F kurzgeschlossenen Widerstandswerte bei H zu ergänzen hat, dann kann man bei Nullstrom im Galvanometer die unbekannte E. M. K. direkt an den Schiebern ablesen und zwar unter Beobachtung des vorher beim Eichen gewählten dekadischen Verhältnisses.

Eine ausgeführte Kompensation ergab folgende Resultate:

Als Normale wurde das Weston-Element genommen; es standen beim Eichen also die Schieber auf 1019, während in H 980 Ohm eingeschaltet waren.

Die Kompensation des Clark-Elementes fand statt bei:

Schieberstellung	Ausschlag
1433	80 mm links
1432	35 „ rechts.

Somit ergiebt sich für das Clark-Element (17°) eine E. M. K. von 1,43228 Volt.

Die Verwendung des Apparates als Regulierwiderstand geschieht unter Benützung der Klemmen der Schieber C und G. Das Instrument, das sich im Verhältnis zu anderen Kompensatoren durch Billigkeit und grösste Übersichtlichkeit auszeichnet, wird vom physik.-mechan. Institut von Professor Dr. M. Th. Edelmann-München ausgeführt.

(Eingegangen 19. Juni 1902.)

Über die Empfindlichkeit und Trägheit von Selenzellen.

Von Ernst Ruhmer.

Bei der mannigfachen Anwendung, welche Selenzellen neuerdings im Laboratorium und in der Praxis finden, macht sich das Fehlen eines einheitlichen Masses ihrer Lichtempfindlichkeit recht fühlbar. Wohl wird dafür allgemein die Widerstandsänderung der Zellen im Dunkeln und bei Beleuchtung gewählt, allein über die dabei anzuwendende Lichtintensität giebt es keine Vereinbarung.

Während ein Experimentator die Prüfung mit 2 Normalkerzen aus 1 m Entfernung vornimmt[1]), bestimmt ein anderer die Widerstandsänderung im grellen Magnesia- oder Sonnenlicht.

Nun zeigen aber die Selenzellen, wie im folgenden an einigen Beispielen gezeigt werden soll, je nach ihrer Herstellungsweise, gegen Beleuchtung ein ganz verschiedenes Verhalten.

Die eine Art Zellen, die ich als „harte" bezeichnen möchte, ändern ihren Widerstand bei schwacher Beleuchtung relativ in geringerem Masse als die „weichen" Zellen. Letztere sind für schwache Lichteindrücke sehr empfindlich, ändern ihren Widerstand aber bei intensiver Beleuchtung verhältnismässig weniger als die harten Zellen. Aus der Existenz dieser beiden verschiedenen Arten von Zellen erklärt sich auch die verschiedene Beurteilung einer und derselben Zelle seitens verschiedener Beobachter und die Zweckmässigkeit der Anwendung verschiedener Arten von Zellen für spezielle Zwecke.

Zu den im folgenden wiedergegebenen Beobachtungen wählte ich einige nach dem System Shelford-Bidwell hergestellte eigne Zellen, sowie eine mir vom verstorbenen Herrn Clausen vor circa einem Jahre freundlichst überlassene Zelle und zwar:

1. Zelle Nr. 69, ca. 2 Jahr alt, 0,2 mm Kupferdrähte auf ein flaches Schiefertäfelchen in 1 mm Abstand gewickelt, Grösse: 43 mm × 26 mm.

2. Zelle Nr. 77, ca. 1½ Jahre alt, 0,2 mm Kupferdrähte auf ein flaches Schiefertäfelchen

1) vgl. H. Th. Simon und M. Reich, diese Zeitschrift, 3, 285, 1902.

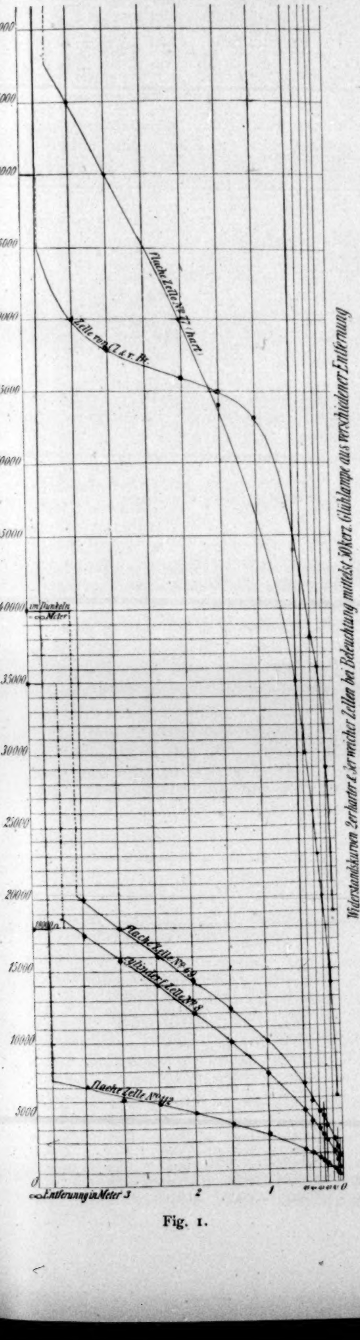
Widerstandskurven 2er harter & 3er weicher Zellen bei Beleuchtung mittelst 30kerz. Glühlampe aus verschiedener Entfernung
flache Zelle No 77 (hart)
Zelle von Cl & r Br
flache Zelle No 69
Cylindrl. Zelle No 8
flache Zelle No 112
im Dunkeln
Entfernung in Meter
80000
75000
70000
65000
60000
55000
50000
45000
40000
35000
30000
25000
20000
15000
10000
5000

Fig. 1.

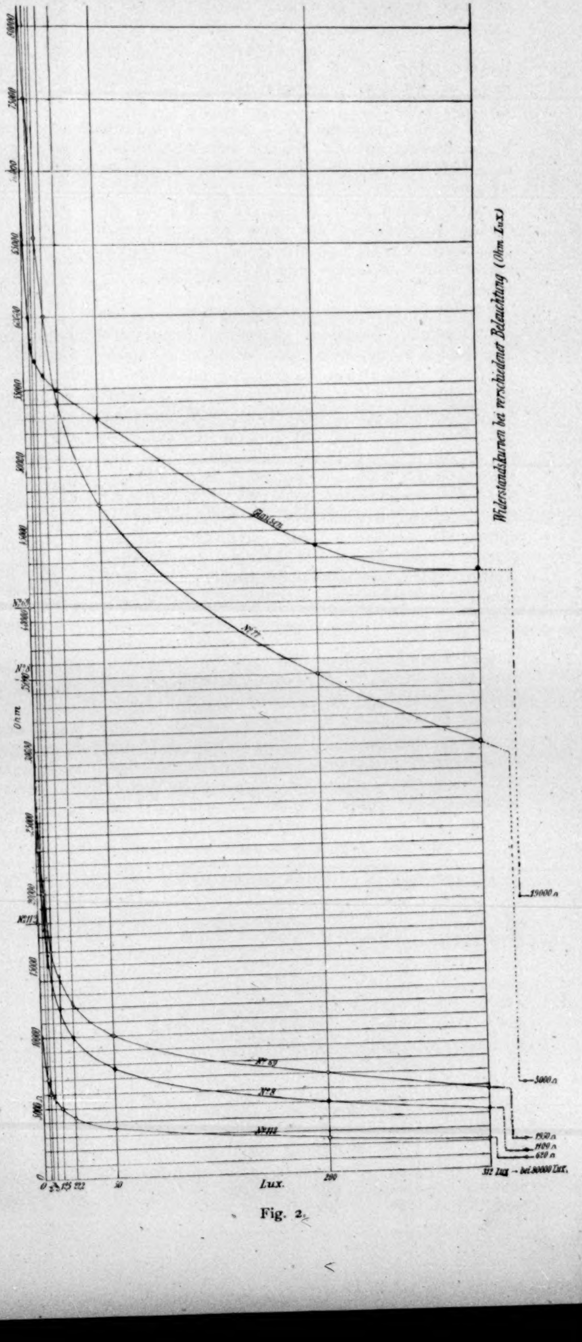
Widerstandskurven bei verschiedener Beleuchtung (Ohm. Lux)
Clausen
No 77
No 69
No 8
No 112
Ohm
Lux
50
200
19000 Ω
3000 Ω

Fig. 2.

in 1 mm Abstand gewickelt, Grösse: 30 mm × 25 mm.

3. Zelle Nr. 112, ca. 2 Monate alt, 0,2 mm Kupferdrähte auf ein flaches Porzellantäfelchen in $^3/_4$ mm Abstand gewickelt, Grösse: 52 mm × 28 mm.

4. Clausens Zelle, ca. 1 Jahre alt, 0,2 mm Kupferdrähte auf ein flaches Schiefertäfelchen in 1 mm Abstand gewickelt, Grösse: 43 mm × 24 mm.

5. Cylinder Zelle Nr. 8, ca. 2 Monate alt, 0,2 mm Kupferdrähte auf einen Porzellancylinder gewickelt. Grösse: 50 mm lang, 18 mm Durchmesser; in evakuierter Glasbirne montiert, versehen mit Edisonfassung.

Die Widerstände dieser Zellen wurden zunächst im Dunkeln, nachdem dieselben mindestens 24 Stunden vorher kein Licht bekommen hatten, gemessen. Sodann wurden die Zellen im völlig verdunkelten Laboratorium mittels einer 50 kerzigen Glühlampe aus verschiedener Entfernung, und zwar mit $3^1/_2$ m beginnend, um je $^1/_2$ m sich nähernd, bis in unmittelbare Nähe, beleuchtet, und der Widerstand, nachdem derselbe konstant geworden war, abermals bestimmt. Um den Einfluss etwaiger Erwärmung der Selenschicht zu eliminieren, wurden nur schwache Stromstärken verwendet und ausserdem die Wärmestrahlen der Glühlampe abgeblendet. Über den Einfluss der Temperatur soll später besonders berichtet werden.

Die Resultate der Widerstandsmessungen sind in Tabelle I notiert und in Fig. 1 graphisch aufgetragen. Fig. 2 zeigt die Abhängigkeit des Widerstandes von der Beleuchtung (Ohm: Lux). Daraus ist folgendes zu ersehen:

Der Widerstand aller Zellen nimmt zwar mit zunehmender Beleuchtung ab, jedoch bei den verschiedenen Zellen in ungleicher Weise. Während die harte Zelle Nr. 77 bei 4,6 Lux erst um 25000 Ω, d. h. um etwa 25 Proz. ihres Dunkelwiderstandes gesunken ist, fällt sie bei stärkerer Beleuchtung, etwa zwischen 22,2 und 20000 Lux um 54000—6000 = 48000 Ω, d. h. um etwa doppelt soviel (48 Proz.).

Ebenso fällt der Widerstand der Clausenschen Zelle bei schwacher Beleuchtung langsam; er beträgt bei 4,6 Lux noch 60000 Ω, hat sich also nur um 10000 Ω vermindert, d. h. um etwa $16^2/_3$ Proz. des Dunkelwiderstandes. Hingegen sinkt er zwischen 22,2 und 20000 Lux um 55000—19000 = 36000 Ω, d. h. mehr als dreimal so stark (60 Proz.) als bei der schwachen Beleuchtung vorher. Es ist also auch die Clausensche Zelle eine harte.

Ganz anders verhalten sich dagegen die Zellen Nr. 69, 112 und 8, welche bei schwacher Beleuchtung ungleich stärker und bei intensiver Beleuchtung in viel geringerem Grade ihren Widerstand verändern, als die harten Zellen und die ich deshalb als „weich" bezeichne. Um nur eine derselben zum Vergleich heranzuziehen, so fällt der Widerstand der Nr. 69 zwischen 0—4,6 Lux um 20000 Ω, d. h. um 50 Proz. ihres Dunkelwiderstandes, zwischen 22,2 und 22000 Lux um 12300—2300 = 10000 Ω, d. h. nur halb so viel als vorhin (25 Proz.).

Aus den angeführten Beispielen glaube ich, das in der Einleitung erwähnte, unter Umständen ganz verschiedene Verhalten der Zellen bei schwacher und intensiver Beleuchtung deutlich gezeigt zu haben. Die verschiedene Beurteilung der Empfindlichkeit einer und derselben Zelle je nach der angewendeten Messmethode ist danach sehr erklärlich. Aber es folgt auch für die Praxis die Zweckmässigkeit, je nach dem Beleuchtungsintervall, das in Frage kommt, verschiedene Arten von Zellen zu benutzen. Ein jeder, der sich mit photophonischen, resp. photographophonischen Versuchen beschäftigt

Tabelle I.

Widerstände einiger Selenzellen bei Beleuchtung mittels 50 kz Glühlampe aus verschiedener Entfernung.

Entfernung in m	No. 69		No. 77		No. 112		Clausen		No. 8		Lux
	Ω	Milli-A.	Ω	Milli-A.	Ω	Milli-A.	Ω	Milli-A.	Ω	Milli-A.	
∞	40000	0.25	100000	0.1	18000	0.55	70000	0.14	35000	0.28	0
3.5	20000	0.5	75000	0.13	7000	1.45	60000	0.17	17500	0.57	4.6
3	18000	0.55	70000	0.14	6100	1.64	58000	0.17	15750	0.63	5.6
2.5	16000	0.63	66000	0.15	5750	1.74	57000	0.17	14000	0.71	8.0
2.	14300	0.70	60000	0.17	5050	1.98	56000	0.18	12000	0.83	12.5
1.5	12300	0.81	54000	0.18	4300	2.32	55000	0.18	10000	1.00	22.2
1	10000	1.0	47000	0.21	3550	2.81	53000	0.19	7750	1.29	50.0
0.5	7000	1.45	35000	0.28	2400	4.16	44000	0.23	5000	2.00	200.0
0.4	5750	1.74	30000	0.33	2150	4.65	42000	0.24	4300	2.32	312.5
0.3	5000	2.0	26000	0.38	1800	5.56	38000	0.26	3850	2.59	555.6
0.25	4700	2.12	23000	0.43	1580	6.33	37000	0.27	3450	2.90	800.0
0.2	4000	2.5	20000	0.50	1390	7.20	36000	0.28	3000	3.33	1250.0
0.1	3000	3.33	14000	0.71	1000	10.00	29000	0.34	2300	4.35	5000.0
0.05	2300	4.35	6000	1.67	700	14.30	19000	0.53	1600	6.25	20000.0
0.025	1950	5.13	—	—	620	16.13	—	—	1100	9.10	80000.0

hat, wird derartige Beobachtungen gemacht haben. Besonders deutlich zeigt sich dieser Umstand aber bei Relaisexperimenten. Bei durchschnittlich starker Beleuchtung wird man besser harte Zellen, bei schwacher Beleuchtung dagegen weiche Zellen anwenden, um mittels geringer Beleuchtungsdifferenzen ein Relais zu bethätigen.

Ich hoffe, später eine ausführliche Darstellung der elektrotechnischen Anwendungen der Selenzellen zu geben, und werde dann auf diesen Punkt näher eingehen.

Das soeben beschriebene, voneinander wesentlich abweichende Verhalten der Selenzellen bei matter und greller Beleuchtung hat, wie bereits oben angedeutet wurde, seinen Grund in der Herstellungsweise derselben. Um nämlich die krystallinische Modifikation des Selens zu erhalten, die allein die stromleitende und unter gewissen Umständen (wie später anlässlich einer Erklärung der Lichtwirkung ausführlicher auseinandergesetzt werden soll) auch die uns hauptsächlich interessierende lichtempfindliche Eigenschaft besitzt, kann man auf zweierlei Weise verfahren. Streicht man ein mit Kupferdraht bifilar bewickeltes Täfelchen, das bis über 100° C. erhitzt wurde, mit dem schwarzen, siegellackartigen Stangenselen und lässt die Masse unter Umrühren oder Erschütterungen rasch bis zum Erstarren abkühlen, so erhält man eine harte Zelle (Krystallmehl). Wird dagegen das Täfelchen langsam abgekühlt, nachträglich aber bis etwa 200° C. erhitzt, so erhält man eine Zelle, mit den vorher als weich bezeichneten Eigenschaften, die eine grobkörnig krystallinische Struktur besitzt.

Hiermit möchte ich auch das ganz sonderbare Verhalten der zu obigen Messungen mitbenutzten Clausenschen Zelle zu erklären versuchen.

Wie man aus dem Verlaufe der Widerstandskurve dieser Zelle bei verschiedener Entfernung der Lichtquelle (Fig. 1) erkennt, hat dieselbe bei einer Entfernung der Lichtquelle zwischen 3 und 1 Meter einen Wendepunkt. Welche Ursache mag dieses unregelmässige Verhalten dieser Zelle, das ihr gewiss nicht zum Lobe dienen kann, haben?

Wahrscheinlich wurde die Zelle auf die vorhin zuerst beschriebene Weise hergestellt, hatte also die Eigenschaften der von mir als hart bezeichneten Zellen angenommen. Nachträglich wird sie dann nochmals erhitzt worden sein, jedoch in unzureichendem Masse, um eine völlige Krystallumlagerung in die grobkörnige Struktur herbeizuführen.

Die Zelle enthält daher beide, von mir als hart, bezw. weich bezeichneten Modifikationen und beide trachten, den Widerstand bei Beleuchtung auf ihre Weise herabzusetzen. Die Wirkungen superponieren sich wohl im allgemeinen, allein da die Widerstandskurve der harten Zellen in ganz anderer Weise verläuft, als die Kurve der weichen Zellen, so kommt jener unregelmässige Verlauf zu stande.

In Fig. 3 habe ich aus der schematisch, allerdings übertrieben gezeichneten Widerstandskurve je einer harten und einer weichen Zelle, eine mittlere Widerstandskurve konstruiert, die in der That einen ähnlichen Verlauf zeigt, wie die Kurve der Clausenschen Zelle. —

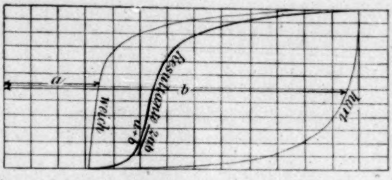

Fig. 3.

Das Widerstandsverhältnis der fünf gemessenen Zellen im Dunkeln und bei greller Beleuchtung stellt sich folgendermassen:

Tabelle II:

Zelle Nr.	Form	Bezeichnung	Widerstände	Quotient
69	flach	weich	40000:1950	20,5
77	flach	hart	100000:6000	16,6
112	flach	weich	18000:620	29,0
Clausen	flach	hart	70000:19000	3,7
8	cylindrisch	weich	35000:1100	31,8

Die weichen Zellen sind also die bei weitem empfindlicheren und die cylindrische Zelle in evakuierter Glasbirne mit fast 32 fachem Widerstandsquotienten ist die empfindlichste unter ihnen, sie ist etwa 8 mal empfindlicher als die Clausensche. Dabei ist noch zu berücksichtigen, dass diese cylindrische Zelle bei der angewendeten Beleuchtung nur auf einer Hälfte und dazu noch in unvorteilhafter Weise Licht bekam, während sich die andere Hälfte naturgemäss im Schatten befand, somit nicht nur keine völlige Ausnutzung der lichtempfindlichen Schicht, sondern sogar ein schädigender Nebenschluss stattfand. Die Cylinderzelle ist ihrer Konstruktion nach bestimmt, in der Brennlinie eines Reflektors angebracht zu werden und würde in diesem Falle, bei gleichmässiger Beleuchtung, wahrscheinlich noch mehr geleistet haben.

Ein Vorzug der weichen Zellen ist ferner ihr im allgemeinen niedriger Widerstand, insofern man zu ihrem Betriebe keine grossen Batterien nötig hat. Die Zelle Nr. 112 ist z. B. schon mit einem einzigen Trockenelement befähigt, ein empfindliches, für diese Zwecke

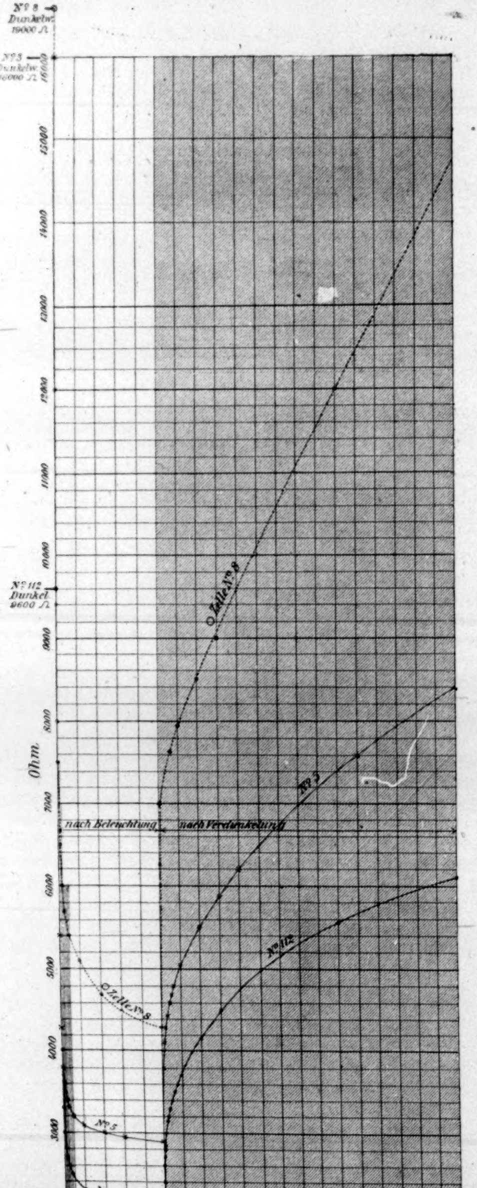

Fig. 4.

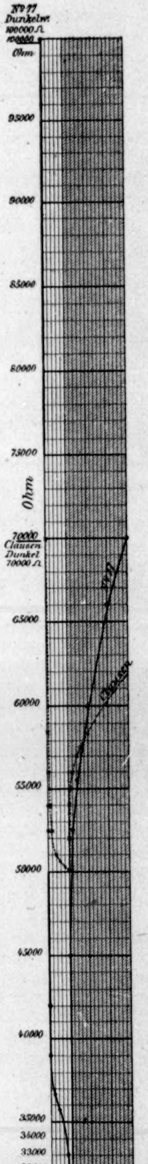

Fig. 5.

Widerstandskurven von Selenzellen nach ploetzlicher Beleuchtung und ploetzlicher Verdunkelung (Traegheit).

besonders konstruiertes Relais, über das gelegentlich berichtet werden soll, zu bethätigen.

Ich besitze Zellen gleicher Art von noch bedeutend niedrigerem Widerstand bei gleicher Empfindlichkeit. Stellt man Selenzellen mit sehr geringer Dicke der lichtempfindlichen Schicht (ca. $^1/_{20}$ mm und darunter) her, so kann man die Lichtempfindlichkeit um ein Beträchtliches steigern, allerdings auf Kosten des niedrigen Widerstandes. Herr J. W. Giltay fertigt derartige Zellen nach einer besonderen Methode. Ich habe neuerdings ebenfalls cylindrische Zellen mit sehr dünnen (ca. $^1/_{100}$ mm) Schichten, allerdings auf andere Art und Weise hergestellt.

Ich möchte mir einige Mitteilungen über solche Zellen mit sehr dünnen Schichten und ihre auf den ersten Blick höchst merkwürdigen Eigenschaften für später aufbewahren, will hier aber wenigstens anführen, dass eine dieser Zellen bei einem Widerstande von ca. 900000 Ω, bei einer Beleuchtung von 50 Lux auf ca. 69100 Ω, sinkt, der Widerstandsquotient für diese Beleuchtung also nahezu 13 ist, während er bei gleicher Beleuchtung für die empfindlichste der in Tabelle I enthaltenen Cylinderzelle Nr. 8 noch nicht 5 beträgt.

Durch geeignete Konstruktionen der Zellen, namentlich durch eine grosse Elektrodenoberfläche, muss man trachten, die aus den dünnen Schichten sich ergebenden hohen Widerstände herabzusetzen.

Eine fernere Eigentümlichkeit bei Selenzellen, auf welche ich bei dieser Gelegenheit eingehen möchte, besteht in deren Trägheit.

Es ist bekannt, dass eine Selenzelle nach erfolgter Belichtung nicht sofort wieder ihren ursprünglichen Widerstand annimmt, sondern erst nach Verlauf einer gewissen Zeit. Auf diesen Umstand hat wohl zuerst S. Kalischer[1]) anlässlich seiner photoelektromotorischen Untersuchungen aufmerksam gemacht und ihn als eine „Nachwirkung des Lichts im Selen" bezeichnet. Derselbe beobachtete auch, dass diese Nachwirkung in Abhängigkeit steht von der Intensität und Dauer der stattgehabten Beleuchtung, doch machte er nur einige Angaben über die Zeit, innerhalb welcher die schwach belichtete Zelle zu ihrem Dunkelwiderstand zurückkehrte, ohne auf den zeitlichen Verlauf der Widerstandsänderung einzugehen.

1) Wied. Ann., **31**, S. 101 ff.

Beobachtet man die Abnahme des Widerstandes einer im Dunkeln gehaltenen Zelle nach plötzlicher starker Belichtung, so zeigt es sich, dass auch die Abnahme des Widerstandes keine momentane ist, wenn sie auch ganz bedeutend schneller erfolgt, also die vorhin erwähnte Zunahme nach erfolgter Verdunkelung. Da man füglich nicht gut von einer „Nachwirkung der Dunkelheit" sprechen kann, so möchte ich mir gestatten, dies Verhalten der Selenzellen als Trägheit zu bezeichnen.

Um diese Trägheit in ihrem zeitlichen Verlaufe zu charakterisieren, habe ich einige Widerstandsmessungen gemacht, und zwar, nachdem die bis dahin im Dunkeln aufbewahrten Zellen plötzlich eine grelle Beleuchtung erfuhren, andererseits, nachdem sie eine Zeit lang grell beleuchtet worden waren, plötzlich wieder verdunkelt wurden.[1]) Zu diesen Beobachtungen wurden die Zellen zunächst in ihren Behältern belassen, plötzlich von einer 16kerzigen Glühlampe aus 40 cm Entfernung belichtet. Die Widerstände wurden zuerst sekundenweise, dann von 5 zu 5, endlich von 10 zu 10 Sekunden bis zur Gesamtdauer einer Belichtung von 5 Minuten notiert. Hierauf

1) Leider konnten wegen Zeitmangels nicht durchgehends ausgeruhte Zellen verwendet werden. Die Zahlenwerte für No. 112 und No. 8 sind daher zu niedrig.

Tabelle III.

1. Widerstände nach plötzlicher Beleuchtung.

Zelle No.	Dunkel-Widerst. 2)	nach 1 Sek.	nach 2 Sek.	nach 3 Sek.	nach 4 Sek.	nach 5 Sek.	nach 10 Sek.	nach 15 Sek.	nach 20 Sek.	nach 30 Sek.	nach 1 Min.	nach 2 Min.	nach 3 Min.	nach 4 Min.	nach 5 Min.
112	9600 Ω	4000	3300	3000	—	2800	2700	2600	2500	—	2280	—	2100	2040	2000
8	19000 Ω	12000	8000	7500	6750	6500	6000	5700	—	5400	5100	4700	—	—	4300
77	100000 Ω	52500	42000	39000	—	—	—	—	—	—	36600	35700	—	33000	30000
5	16000 Ω	5400	4300	4000	3800	3600	3500	3400	3300	3200	3100	3000	2950	—	2900
Clausen	70000 Ω	58500	56000	—	—	—	—	—	—	54000	52500	51000	50700	50400	50200

2. Widerstände nach plötzlicher Verdunkelung.

Zelle No.	in Licht-Widerstand	nach 1 Sek.	nach 2 Sek.	nach 3 Sek.	nach 4 Sek.	nach 5 Sek.	nach 10 Sek.	nach 15 Sek.	nach 20 Sek.	nach 25 Sek.	nach 30 Sek.	nach 40 Sek.	nach 50 Sek.
112	2000 Ω	2400	2600	2700	2800	2850	3000	3150	3200	3300	3400	3500	3600
8	4300 Ω	6250	7000	—	—	—	—	—	—	—	7640	—	—
77	30000 Ω	—	—	—	—	45000	—	—	—	—	—	—	—
5	2900 Ω	—	—	—	—	3800	4100	4300	4450	4600	4700	4800	—
Clausen	50200 Ω	53500	—	—	—	54000	—	—	—	—	55000	—	—

Zelle No.	nach 1 Min.	nach 2 Min.	nach 3 Min.	nach 4 Min.	nach 9 Min.	nach 15 Min.
112	3700	4180	4500	4800	5560	6100
8	7950	8500	9000	—	12000	15000
77	52500	55500	—	5 Min. 60000	10 Min. 66000	70000
5	5050	5500	5870	6210	—	—
Clausen	56000	57000	57600	58400	—	61900

wurden die Zellen wieder verdunkelt und das Steigen des Widerstandes in gleicher Weise bestimmt. Die so ermittelten Zahlen sind in Tabelle III eingetragen und in Fig. 4 und 5 graphisch dargestellt.

Man ersieht hieraus, dass sich bei plötzlicher Beleuchtung der grösste Teil der Gesamtwiderstandsänderung bereits in der ersten Sekunde vollzieht, dann langsamer fällt; indessen hatte keine einzige von allen beobachteten Zellen nach 5 Minuten ihren Minimalwert erreicht, alle würden ihren Widerstand noch weiter vermindert haben, wenn nicht wegen Abkürzung der Untersuchung das Licht abgeschnitten worden wäre. Man sieht auch hier wieder den grossen Unterschied zwischen den weichen und harten Zellen. Während erstere ihren Widerstand nach einer Belichtung von mehreren Minuten nur noch in geringem Masse ändern, ist die Widerstandsänderung bei den harten Zellen in dem entsprechenden Teil der Kurve noch ziemlich bedeutend.

Viel langsamer erfolgt die Zunahme des Widerstandes nach erfolgter Verdunkelung, bei den harten Zellen verhältnismässig schneller als bei den weichen.

Durchschnittlich aber kann man sagen, dass sich die weichen Zellen nach einer Viertelstunde seit der Belichtung erst bis zur Hälfte ihres ursprünglichen Widerstandes bequemt haben. Bei schwacher Beleuchtung oder kürzerer Dauer wird sich dies günstiger, bei greller Beleuchtung und längerer Dauer noch ungünstiger stellen, jedenfalls aber geht auch aus dieser Messung hervor, dass man keine Zelle auf ihre Empfindlichkeit prüfen sollte, ohne vorher ihren wirklichen Dunkelwiderstand durch ca. 24 stündige Aufbewahrung im Dunkeln ermittelt zu haben. Die flachen Zellen haben zu diesem Zweck ein Schiebe- oder Klappdeckelkästchen, die cylindrischen Zellen ein Lederfutteral. Letzteres kann durch Abnehmen des Deckels geöffnet werden, um die Zelle in die Fassung zu schrauben, ohne dass die Zelle Licht empfängt.

Holzkästchen und Lederfutteral schützen freilich nicht vor Röntgenstrahlen, auf die Selenzellen ebenfalls sehr empfindlich reagieren.

Über die Haltbarkeit lichtempfindlicher Zellen, die für die Praxis eine grosse Rolle spielt und über die bisher sehr unerfreuliche Resultate vorliegen, soll in einer weiteren Notiz berichtet werden.

Berlin, 1. Juni 1902.

(Eingegangen 6. Juni 1902.)

Über die chemischen Wirkungen der Kathodenstrahlen.

Von G. C. Schmidt.

In einer vor kurzem erschienenen Arbeit[1]) habe ich nachgewiesen, dass die Kathodenstrahlen stark reduzierende Eigenschaften besitzen. So wurden durch dieselben Eisenchlorid in Eisenchlorür, Quecksilberchlorid in Quecksilberchlorür, Natriumchlorid in Natriumsubchlorid u. s. w. verwandelt. Ich erklärte diese Thatsache, indem ich annahm, dass ein negatives Elektron der Kathodenstrahlen eine positive Valenzladung des Metalles im Salze sättigt und dass dieses dadurch aus dem drei- in den zweiwertigen, bezw. aus dem zweiwertigen in den einwertigen übergeht. Das Metall vermag dann nicht mehr drei bezw. zwei Atome des Halogens zu binden, das eine entweicht, verbindet sich mit einem anderen positiv geladenen Elektron oder vereinigt sich auf eine andere Weise zu einem indifferenten Halogenmoleküle. Es bleibt somit eine Verbindung zurück, die im Vergleiche zum Ausgangsmateriale weniger Halogen enthält, also reduziert ist.

Dass diese Wirkung nicht entsprechend der Hypothese von Herrn E. Goldstein[2]) davon herrührt, dass die Kathodenstrahlen beim Anprallen auf feste Körper an der Treffstelle ultraviolettes Licht erregen, und dass diesem die reduzierenden Eigenschaften zuzuschreiben seien, bewies die Thatsache, dass unter dem Einflusse des Bogenlichtes, welches stark ultraviolettes Licht aussendet, das Eisenchlorid nicht reduziert wird und ferner, dass Flussspat, welcher für ultraviolettes Licht durchlässig ist, die Wirkung der Kathodenstrahlen aufhebt.

Die Frage, ob thatsächlich die Kathodenstrahlen an der Treffstelle stets ultraviolettes Licht erregen, also ausser ihren reduzierenden Eigenschaften alle Körper veranlassen, ultraviolette Schwingungen auszusenden, blieb damals eine offene.

Offenbar kann die Goldsteinsche Hypothese nicht aufrecht erhalten werden, wenn es gelingt, nachzuweisen, dass unter dem Einflusse des ultravioletten Lichtes fluoreszierende Stoffe unter den Kathodenstrahlen nicht leuchten. Von den vielen daraufhin untersuchten Körpern brachten die Anilinfarbstoffe eine Entscheidung.

1) Diese Z. **3**, 114, 1901. Ann. d. Phys. **7**, 321, 1902.
2) E. Goldstein, Sitzungsber. Akad. Wiss. Wien **80**, 151, 1879 u. später. Siehe auch G. Holzknecht, Verh. Phys. Ges. **4**, 27, 1902.

Dieselben waren in Gelatine gelöst und durch längeres Stehenlassen im Exsikkator getrocknet. Auf die auf diese Weise dargestellten Gelatinescheiben wurde in bekannter Weise mittels Flussspat-Quarz-Achromaten und einem Quarzprisma ein Spektrum geworfen. Die meisten Anilinfarben leuchteten unter dem Einflusse des ultravioletten Lichtes nicht, nur die festen Lösungen von Rhodamin, Cyanin, Hoffmanns Violett und besonders schön von Fluorescein in Gelatine fluoreszierten unter diesen Umständen. Wie ein Vergleich mit Uranglas, welches selbst unter den äussersten ultravioletten Strahlen fluoresziert, ergab, war das erregte Licht beim Fluorescein ungefähr ebenso intensiv wie beim Uranglas; auch wurde es durch ungefähr dieselben Strahlen hervorgerufen.

Unter den Kathodenstrahlen leuchtete das Uranglas intensiv, die Anilinfarbstoffe zeigten dagegen kaum eine Spur von Fluoreszenz.[1]) Es muss daher der Vorgang der Erregung in beiden Fällen ein verschiedener sein.

Hiermit dürfte bewiesen sein, dass die Kathodenstrahlen beim Anprallen auf feste Körper an der Treffstelle im allgemeinen kein ultraviolettes Licht erzeugen; dass sie unter besonderen Umständen, z. B. bei solchen Körpern, wie Chinin, bei denen sich die durch Licht erregte Fluoreszenz bis ins Ultraviolett erstreckt, die Moleküle veranlassen können, ultraviolettes Licht auszusenden, bedarf wohl kaum der Erwähnung.

1) Das äusserst schwache Fluoreszenzlicht wurde durch ultraviolettes Licht hervorgerufen, welches stets zugleich mit der positiven Säule und den anderen Gebilden einer Entladungsröhre auftritt. Keinesfalls wurde es durch Kathodenstrahlen erregt.

Erlangen, physikal. Institut, den 19. Juni 1902.

(Eingegangen 24. Juni 1902.)

Über die Emanation des Phosphors.

Von G. C. Schmidt.

Im Jahre 1895 fand Ewan[1]), dass die Oxydationsgeschwindigkeit von Phosphor, Schwefel und Acetaldehyd der Quadratwurzel aus dem gerade herrschenden Sauerstoffdruck proportional ist. Um diese Versuchsergebnisse zu erklären, machte Herr van't Hoff[2]) die Annahme, dass im gewöhnlichen Sauerstoff schon vor der Oxydation eine Spaltung in einzelne Atome erfolge, die wahrscheinlich entgegengesetzt geladen seien. Der sich oxydierende Körper ziehe eins der beiden Spaltungsstücke des Sauerstoffmoleküls vor, so dass das andere für andere Oxydationen verfügbar sei; dadurch finde das Auftreten von Ozon bei der langsamen Verbrennung des Phosphors eine Erklärung.

Eine ähnliche Hypothese hat bereits vor längerer Zeit R. Clausius[1]) aufgestellt. Er glaubt, dass die Sauerstoffmoleküle aus zwei Atomen bestehen und dass diese durch entgegengesetzte Ladungen ebenso wie die Atome im Molekül des Chlornatriums zusammengehalten seien. „Da nun bei der Oxydation des Phosphors der Sauerstoff jedenfalls als negativer Bestandteil in die Verbindung tritt, so kann es sein, dass von den beiden Sauerstoffatomen, welche aus einem Molekül entstehen, vorzugsweise das negative von dem Phosphor festgehalten wird und das positive ungehindert oder doch weniger gehindert fortfliegen kann." Zieht man nun in Betracht, dass nach Matteuci die Luft durch Phosphor leitend gemacht wird, so scheint hier ein inniger Zusammenhang zu bestehen, den aufzuklären der Zweck der vorliegenden Abhandlung war.

Über die durch Phosphor der Luft erteilte Leitfähigkeit liegen eine Reihe von Untersuchungen vor, vor allem von Bidwell[2]), Naccari[3]), Elster und Geitel[4]), Des Coudres[5]) und von Barus[6]), der in den letzten Jahren eine grosse Anzahl von Arbeiten über diesen Gegenstand veröffentlicht hat. Der letztere hat seine Versuchsergebnisse auf Grund der Elektronentheorie zu erklären gesucht. Auf diese Theorie und die daran sich anknüpfenden mathematischen Entwickelungen will ich nicht weiter eingehen und zwar deswegen, weil, wie sich später ergeben wird, die von den obigen Verfassern gefundenen Thatsachen anders erklärt werden müssen.

Versuchsmethode und Apparate. Um die Beziehung zwischen Leitfähigkeit und Oxydation quantitativ zu verfolgen, galt es zunächst, die Methode der Leitfähigkeitserregung durch Phosphor so zu gestalten, dass brauchbare, untereinander übereinstimmende Resultate erzielt wurden. Dies ist mir freilich nicht ganz gelungen, wie die folgenden Tabellen beweisen werden, immerhin lassen sich aus den erhaltenen Zahlen sichere Schlüsse ziehen.

Wie schon Barus fand, erhält man häufig selbst von einem und demselben Stück Phosphor recht verschiedene Werte für die erregte Leitfähigkeit. Es ergab sich bald, dass dies davon herrührte, dass der Phosphor an einer

1) Ztschr. physik. Ch. **16**, 321, 1895.
2) Ztschr. physik. Ch. **16**, 411, 1895; siehe auch Ver. Frankf. Naturforschertags II. Teil, I. Hälfte, S. 107, 1897.

1) Pogg. Ann. **103**, 644, 1858; **121**, 250, 1864.
2) Nature 1893 Dez., S. 212.
3) Atti di Torino **25**, 252, 1890.
4) Wied. Ann. **39**, 324, 1890.
5) Wied. Ann. **62**, 144, 1897.
6) Barus, Science **11**, 201, 1900, **13**, 501, 1901; Phys. Rev. **10**, 257, 1900; Phil. Mag. **2**, 40, 391 und 477, 1901; **3**, 80, 1902.

Stelle sich stark oxydierte; hierbei wird soviel Wärme frei, dass eine starke Verdampfung stattfindet. Durch die Oxydation des Dampfes, welcher viel leichter erfolgt, als die des festen Körpers, wird aber eine grosse Leitfähigkeit der Luft erregt. Nach einiger Zeit verstopft sich aus zufälligen Ursachen dieser Oxydationsherd, wodurch die Leitfähigkeit abnimmt, und an einer anderen Stelle entsteht dafür ein neuer. Um nun die Oxydation möglichst gleichmässig zu gestalten, wurde der Phosphor in sehr enge Röhrchen eingeschmolzen und zwar derart, dass er sie nicht ganz erfüllte. Jetzt hatte der Sauerstoff der Luft nur langsam Zutritt, es konnte nie eine starke Oxydation und davon bedingte starke Verdampfung stattfinden. Selbst wenn dies zufällig eintrat, so schob der Phosphordampf bezw. die Verbrennungsprodukte desselben die Luft in erhöhtem Masse heraus, die Oxydation nahm ab und es stellte sich in kurzer Zeit wieder der alte Gleichgewichtszustand her.

Um die Leitfähigkeit zu messen, wurde folgendes Verfahren benutzt. Eine Flasche von 30 cm Höhe und 20 cm Durchmesser wurde

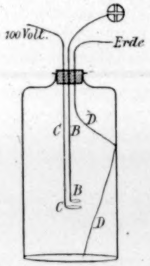

Fig. 1.

oben durch einen dreifach durchbohrten Gummistopfen geschlossen. Durch die zwei Durchbohrungen führten zwei durch Glas und Siegellack wohlisolierte Eisenstäbe B und C, an denen unten kleine Eisenteller von 3 cm Durchmesser angelötet waren. Durch die dritte ging ein dauernd mit der Erde verbundener Draht D. Die Flasche wurde nun zunächst mit einer konzentrierten Phosphorsäurelösung ausgespült, die durch D mit der Erde verbunden wurde. Es wurde nun C mit dem positiven bezw. negativen Pol einer vielpaarigen Batterie verbunden, während B mit einem empfindlichen Quadrantelektrometer kommuniziert. Dieses ist, während die oben genannte Verbindung hergestellt wird, zur Erde abgeleitet. Hebt man nun, nachdem C durch die Säule auf konstantes Potential geladen ist, die Erdleitung des Elektrometers auf, so misst der Ausschlag des letzteren das Quantum Elektrizität, das in einem gegebenen Zeitintervall die Luftschicht zwischen C und B durchströmt.

Das beschriebene Verfahren gestattet die Verwendung beträchtlicher elektrischer Spannungen, ohne den Gebrauch eines sehr empfindlichen Elektrometers auszuschliessen. Ausserdem gewährt es noch den nicht zu unterschätzenden Vorteil, dass durch den Einfluss von Isolationsfehlern, welche wegen der Feuchtigkeit der Luft nie ganz ausgeschlossen werden konnten, nie zu grosse Werte vorgetäuscht werden können. Man findet vielmehr zu kleine, wenn die Stützen, welche die Elektrometerdrähte tragen, ungenügend isolieren. Entweicht über diese soviel Elektrizität, wie in den gleichem Zeitraum dem Elektrometer zugeführt wird, dann erscheint der Phosphor unwirksam. Es ist ferner unmöglich, dass ohne Vermittelung der Luftschicht zwischen B und C Elektrizität von B nach C fliesst, da die ganze, gut leitende Wandung der Flasche dauernd mit der Erde verbunden ist.[1] Um den Apparat auf seine Brauchbarkeit zu prüfen, wurde zunächst auf C eine frisch amalgamierte Zinkplatte gebracht und die Elektrizitätszerstreuung bei negativer und positiver Ladung bei Belichtung gemessen. Da sich keine Fehlerquellen ergaben, wurde zur Messung der durch Phosphor bewirkten Leitfähigkeit geschritten. Bemerkt möge noch werden, dass die Stützen vor jedem Versuch stark erwärmt wurden, um die Feuchtigkeit zu entfernen.

Beziehung zwischen Stromstärke und Oberfläche des Phosphors. Es wurde auf C anfangs ein, darauf zwei Phosphorgläschen gelegt und der Strom einmal unmittelbar nachdem die Gläschen an Ort und Stelle gebracht und darauf zwei Stunden später gemessen. Es waren für die Versuche zwei Gläschen ausgesucht, die untereinander übereinstimmende Resultate haben.

Tabelle I.

1 Gläschen		2 Gläschen	
E. M. K.	Ausschlag in 30 Sek.	E. M. K.	Ausschlag in 30 Sek.
20 Volt	5	20 Volt	9
40	8	40	17
60	12	60	26
80	15	80	37
100	19	100	47
120	24	120	56
140	27	140	65
160	35	160	74
180	39	180	84
200	45	200	93
240	64	240	120

Die Ausschläge, welche Mittelwerte dar-

1) Die Methode ist der von den Herren Elster und Geitel bei ihren lichtelektrischen Versuchen angewandten nachgebildet; siehe Wied. Ann. **44**, 725—726, 1891.

stellen, sind in willkürlichen Einheiten gemessen. Die Empfindlichkeit des Elektrometers betrug 2 Volt = 88 Skalenteile.

Aus der Tabelle geht hervor, dass die Leitfähigkeit proportional der Oberfläche des Phosphors ist. Andere Beobachtungsreihen ergaben das nämliche, wenn auch die Zahlen nicht so gut übereinstimmten.

Beziehung zwischen Stromstärke und Entfernung der Elektroden voneinander. Die Entfernung der Platten betrug 15 mm, der Ausschlag in 30 Sek. bei 240 Volt 70 Skalenteile. Als die Elektroden 40 mm voneinander entfernt waren, wurde ein Ausschlag von 55 Skalenteilen erhalten. Aus diesen und anderen Messungen geht hervor, dass der Einfluss der Entfernung der Elektroden voneinander nur gering ist; mit zunehmender Entfernung nimmt der Ausschlag des Elektrometers ab.

Da in dieser Beziehung sich der Phosphor genau so verhält, wie die aktinoelektrischen Körper, z. B. amalgamiertes Zink, bei der Belichtung[1]), so schien es nicht ausgeschlossen, dass das bei der Oxydation entwickelte violette und ultraviolette Licht die negative Elektrizität zerstreue und dadurch die Ausschläge des Elektrometers hervorrufe. Um diese Annahme, welche allerdings nicht sehr wahrscheinlich war, da die Ausschläge gleichgross waren, gleichgültig ob die untere Platte positiv oder negativ geladen war, zu prüfen, wurde das Phosphorgläschen in Stanniol gehüllt, so dass das Metall weit über den Rand des Gläschens hervorragte. Es wurde nun letzteres auf die Platte C gelegt und C einmal negativ, das andere Mal positiv geladen. In beiden Fällen waren die Ausschläge gleichgross. Da der Phosphor, wie deutlich zu erkennen war, nur an der Oberfläche leuchtete, so konnte kein Licht die obere Platte B treffen. Hätten wir es bei diesem Vorgang mit der Zerstreuung der negativen Elektrizität durch Licht zu thun, so hätte man, wenn C negativ geladen war, einen starken Ausschlag, bei positivem C, gar keinen beobachten müssen. Aus der Gleichheit folgt, dass das durch Phosphor hervorgerufene Leitvermögen der Luft nicht auf Zerstreuung der negativen Elektrizität durch das die Oxydation des Phosphors begleitende violette Licht zurückgeführt werden kann.

Andere Beobachtungen, bei denen die negative Elektrode durch undurchsichtige Schirme gegen das Licht abgeblendet waren, ergaben das nämliche.

Beziehung zwischen Stromstärke und Oxydationsgeschwindigkeit. Zur Messung dieser Beziehung wurde der folgende Apparat benutzt. Ein kleines Gefässchen von ungefähr 50 ccm Inhalt wurde unten durch einen Gummistopfen geschlossen. Seitwärts befanden sich die Elektroden, von denen die eine mit dem einen Pol der Batterie, deren anderer Pol zur Erde abgeleitet war, verbunden war, während die andere zum Elektrometer führte. Mit dem Gefässchen war ein Manometer M ver-

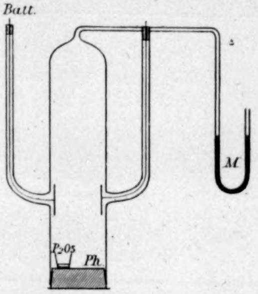

Fig. 2.

bunden. Auf den Stopfen befand sich ein Gefäss mit Phosphorsäureanhydrid, um das Gefäss zu trocknen, und mehrere Phosphor enthaltende Glasröhrchen. Das Ganze befand sich, um die Temperatur konstant zu halten, in einem Wasserbade. Es wurde nun von Zeit zu Zeit der Ausschlag des Elektrometers und der Druck im Apparat gemessen. Über die erhaltenen Resultate giebt die folgende Tabelle Auskunft, in der Druck die Differenz des Druckes im Apparat im Vergleich zu dem ausserhalb und Zeit die nach Beginn des Versuches verflossene Zeit bedeuten.

Tabelle II.

E. M. K.	Ausschlag	Druck	Zeit
40 Volt	160	0 mm	0 Stunde
80	323	0	0
40	156	8	0,5
80	297	8	0,5
40	135	14	1,3
80	282	14	1,3
40	133	19	2
80	270	19	2
40	120	25	6
80	249	25	6
40	111	27	8
80	232	27	8
40	51	32	17
80	106	32	17

1) Siehe A. G. Stoletow, Physical Rev. 1, 756, 1892.

Aus der Tabelle geht deutlich hervor, dass mit abnehmendem Druck, also mit **abnehmendem Sauerstoff die Leitfähigkeit der Luft abnimmt.**

Viel sicherer als durch diese quantitativen Messungen kann man sich von dem Zusammenhang zwischen Leitfähigkeit und Oxydation durch qualitative Versuche überzeugen. Leitet man in die Flasche (Fig. 1) allmählich Kohlensäure odes Stickstoff, so nimmt der Ausschlag des Elektrometers ab, um auf Null zu sinken, sobald aller Sauerstoff verdrängt ist. Gleichzeitig hört auch das Glimmen des Phosphors auf. Verbindet man mit einem Braunschen Elektrometer eine metallische Schale und wirft auf die letztere, nachdem das Ganze auf ein hohes Potential geladen ist, ein erbsengrosses Stück Phosphor, so schwindet die Ladung in ganz kurzer Zeit. Hüllt man den Phosphor in feuchtes Fliesspapier oder feuchte Leinwand, so dass der Sauerstoff keinen Zutritt zu dem Phosphor hat, so bleibt die Ladung des Elektrometers erhalten. Aus diesen Versuchen ist daher der Schluss zu ziehen: **die Oxydation des Phosphors ist die Bedingung für die Leitfähigkeit der Luft.**

Beziehung zwischen E. M. K. und Ausschlag bezw. Stromstärke. Bekanntlich nimmt bei durch Röntgen- oder Uranstrahlen ionisierter Luft die Stromstärke mit wachsender E. M. K. anfangs rasch zu, um bei ungefähr 80—100 Volt einen konstanten Wert anzunehmen. Steigert man die E. M. K., so bleibt die Stromstärke dieselbe; es ist der sogenannte „Sättigungsstrom" erreicht. Ganz anders verhält sich die durch Phosphor leitend gemachte Luft. Auf die Schale C (Fig. 1) wurde ein kleines Stückchen Phosphor gelegt und nun auf- und absteigend die E. M. K. und der dazu gehörige Ausschlag abgelesen (2 Volt = 30 Skalenteile).

Tabelle III.

E. M. K.	i
80 Volt	40
160	89
240	157
316	201
392	250
470	284
392	261
316	201
280	184
200	124
80	34

Es wurde ein Phosphorgläschen auf die Schale gelegt und das Elektrometer viel unempfindlicher gemacht.

E. M. K.	i
240 Volt	10
480	18
1000	34
1480	74
2000	94
1480	70
1000	28
480	12

Trotz der Unregelmässigkeiten zeigen die Zahlen deutlich, dass **ein Sättigungsstrom nicht vorhanden ist.** Es lässt sich dies nicht durch mangelhafte Isolation erklären, da dieser Umstand nur bewirkt hätte, dass meine Ausschläge besonders bei den hohen E. M. K. zu klein geworden wären.

Um dieses Ergebnis noch auf andere Weise zu prüfen, wurde die Flasche (Fig. 1) mit Stanniol innen ausgelegt und ebenso zwischen den Stützen C und B auf den Kork Stanniol befestigt, welches zur Erde abgeleitet wurde. Nachdem trockene Luft in die Flasche geleitet war, wurde auf C etwas Phosphor gebracht und nun die Stromstärke bei verschiedener E. M. K. gemessen.

Tabelle IV.

E. M. K.	i	Mittel
80 Volt	5	8
240	30	29
500	70	60
1000	80	76
1500	90	85
2000	96	90
1500	80	—
1000	72	—
500	49	—
2000	74	—
240	28	—
80	11	—

Die Fig. 3 giebt die Resultate der Tabellen

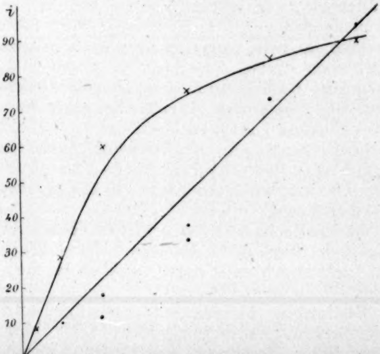

Fig. 3.

III und IV wieder. Ein Blick auf die Figur zeigt, dass beide Beobachtungsreihen nicht miteinander übereinstimmen. Wenn man aber erwägt, dass die Isolationsfehler bewirken, dass namentlich bei hohen E. M. K. die Stromstärken zu klein werden, so ergiebt sich aus den Tabellen mit Sicherheit, dass selbst bei 2000 Volt der Sättigungsstrom noch nicht erreicht ist.

Ich verzichte darauf, noch andere Beobachtungsreihen mitzuteilen, da sie alle ganz analog waren; teils verliefen sie bis 2000 Volt beinahe geradlinig, teils schwach gekrümmt, so dass die beiden Kurven als Typen meiner Versuchsergebnisse gelten können. Soweit nicht Isolationsfehler in Betracht kommen, wird sich der Grund für dieses Verhalten aus dem Folgenden ergeben.

Vergleich der durch Phosphor hervorgerufenen Ionisation der Luft mit der durch Röntgenstrahlen bewirkten. Die Thatsache, dass kein Sättigungsstrom mit dem Phosphor erhalten wurde, glaubte ich anfangs darauf zurückführen zu müssen, dass die Anzahl der gebildeten Ionen bezw. Elektronen sehr gross sei. Es schien daher von besonderem Interesse, die Anzahl der Ionen bezw. die Leitfähigkeit der durch Phosphor „ionisierten" Luft mit der durch Röntgenstrahlen ionisierten zu vergleichen. Zu dem Zweck wurde ein Braunsches Elektrometer mit einer wohlisolierten kupfernen Schale leitend verbunden und darauf nach der Ladung auf 2000 Volt ein erbsengrosses Stück Phosphor fallen gelassen. In kurzer Zeit sank die Ladung auf Null und zwar ebenso schnell bei positiver als bei negativer Ladung. Es wurde darauf nach Entfernung des Phosphors die Schale mit Röntgenstrahlen bestrahlt. Es ergab sich, dass die Leitfähigkeit in beiden Fällen die gleiche war, wenn die Röntgenröhre in einer Entfernung von 3 m sich von der Schale befand. Im letzteren Falle wurde ein Sättigungsstrom bei 80 Volt erhalten, beim Phosphor war dagegen, wie aus dem vorigen Abschnitt hervorgeht, selbst bei 2000 Volt noch kein Anzeichen einer Sättigung zu beobachten. Hieraus geht deutlich hervor, dass beide Vorgänge voneinander verschieden sind und dass die durch Phosphor der Luft erteilte Leitfähigkeit nicht auf eine Ionisation zurückgeführt werden darf.

Phosphornebel. Wenn Phosphor verbrennt bezw. sich langsam oxydiert, so entstehen: Phosphoroxyd, Pentoxyd, phosphorige Säure, Phosphorsäure (vielleicht auch Phosphordioxyd), alles feste Stoffe, die eine Zeitlang in der Luft schweben und sich allmählich zu Boden setzen.

Es schien jetzt, da die durch Phosphor ionisierte Luft sich ganz anders verhält, als die durch Röntgenstrahlen ionisierte, nicht ausgeschlossen, dass die Leitfähigkeit der Luft nur davon herrührte, dass die letztere mit gutleitenden Staubteilchen infolge der Oxydation gesättigt wurde, die das Elektrometer in bekannter Weise lüden bezw. bei anderen Versuchen entlüden.

Um dies zu prüfen, wurde in einem verdunkelten Zimmer ein Lichtstrahl zwischen BC (Fig. 1) gesandt, während auf der Platte C ein Stückchen Phosphor sich befand. Solange die Platte nicht geladen war, stieg ein Nebel von dem Phosphor in die Höhe, senkte sich gewöhnlich, bevor die obere Platte erreicht war, und fiel zu Boden oder schlug sich an die Wand nieder. Sobald nun eine E. M. K. angelegt wurde, sah man ganz deutlich, wie dieser Nebel sich gerade aufrichtete und an der oberen Platte endigte. Zu gleicher Zeit wurden auch von der oberen Platte Teilchen nach der unteren geschleudert. Sobald die Leitung zu C unterbrochen wurde, senkte sich der Nebel wieder, um bei plötzlich angelegter E. M. K. wie eine vulkanische Eruption emporgeschleudert zu werden. Hand in Hand änderten sich hiermit die Ausschläge des Elektrometers. Ja aus dem Aussehen des Nebels, der Dicke, ob die Oxydation von einem oder mehreren Oxydationsherden ausgeht u. s. w. kann man mit Sicherheit die Grösse des Ausschlags voraussagen; treffen zwei Wolken die Platte, so ist der Ausschlag grösser als bei einer; dasselbe ist der Fall, wenn die Wolke dick ist u. s. w. Erregt man einen Luftzug, so dass die Zahl der von der unteren Platte auf die obere geschleuderten Teilchen geringer wird, so nimmt der Ausschlag ab.

Nach dem Vorhergehenden schien es schon ausserordentlich wahrscheinlich, dass die scheinbare Leitfähigkeit der Luft nur von kleinen Staubteilchen herrührte. Gleichwohl glaubte ich, diese Annahme auch in anderer Weise bestätigen zu müssen. Der Stopfen wurde nun noch zweimal durchbohrt und zwischen die Teller BC ein rechtwinklig gebogenes Glasrohr KL, so wie es die Fig. 4 zeigt, eingeführt. Ein zweites Glasrohr wurde mit der Wasserstrahlluftpumpe

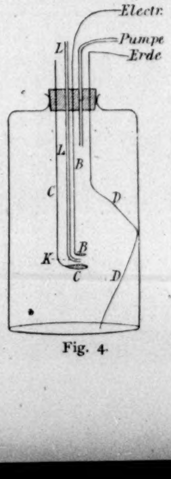

Fig. 4.

in Verbindung gesetzt, so dass ein langsamer Luftstrahl durch *LK* gezogen werden konnte. Es wurden nun zunächst die Ausschläge gemessen, während sich kein Phosphor auf der Schale befand; die Zahlen stehen in der nachfolgenden Tabelle unter I; darauf wurde ein Stückchen Phosphor auf *C* gelegt und wiederum die nach 30 Sekunden eingetretenen Ausschläge gemessen (Reihe II). Darauf wurde der Phosphor in die Glasröhre bei *K* gelegt (Reihe III); jetzt wurde ein langsamer Luftstrom durch *LK* geleitet (Reihe IV), wobei deutlich zu sehen war, wie der Phosphornebel hin- und herwirbelte; schliesslich wurde die untere Öffnung von *LK* bei *K* durch einen lose ansitzenden Asbest- bezw. Glaswollepfropfen verschlossen, welcher alle feste Teilchen zurückhielt, so dass kein Nebel zu sehen war (Reihe V).

Tabelle V.

	I	II	III	IV	V
80 Volt	4	180	40	30	2
160	10	240	70	50	2
240	16	340	90	75	3
500	20	a. d. Gesichtsf.	120	130	3

Aus der Tabelle geht deutlich hervor, dass, sobald der Nebel verschwunden ist, die Leitfähigkeit der Luft ebenfalls verschwindet. Bei der Reihe II, bei der die Ausschläge am grössten sind, war deutlich zu erkennen, wie der Nebel emporgeschleudert wurde; bei III und IV senkten sich die Teilchen auf die Platte *C* und wurden dann erst nach *B* hinübergeführt; ihre Zahl war viel geringer, als im vorhergehenden Fall, infolgedessen ist der Ausschlag auch kleiner. Sobald keine festen Teilchen mehr zu sehen sind, ist der Ausschlag Null (Reihe V).

Rührt die entladende Wirkung des Phosphors von den festen Oxydationsprodukten her, so war vorauszusehen, dass jeder Rauch sich ähnlich wie Phosphornebel verhalten würde. Es wurde jetzt auf die Schale *C* eine glimmende Cigarette gebracht; nach Anlegung einer E. M. K. wurde hier der Rauch emporgeschleudert, wenn auch nicht in so deutlicher Weise wie beim Phosphor. Die Flasche füllte sich mit Rauch, welcher allmählich aus der Flasche entwich. Es wurden folgende Ausschläge erhalten:

Tabelle VI.

E. M. K. = 500 Volt.

Zeit	Ausschlag
0	130
nach 2 Minuten[1])	50
„ 7 „	20
„ 15 „	2

1) Nachdem die Cigarette erloschen war.

Aus der Tabelle geht hervor, dass auch Rauch das Elektrometer zu entladen vermag[1]), und ferner, dass die Elektrometerausschläge kleiner werden, je mehr der Rauch aus der Flasche verschwindet.

Sind es die festen Oxydationsprodukte des Phosphors, welche entladend wirken, so war vorauszusehen, dass es gelingen müsste, eine Entladung hervorzurufen, wenn man die Flasche mit dem Phosphornebel füllte. Dies war in der That der Fall; denn nachdem man ein erbsengrosses Stück Phosphor in der Flasche verbrannt hatte, zeigte das Elektrometer einen grossen Ausschlag, der allmählich zurückging, während gleichzeitig die festen Teilchen zu Boden fielen oder sich an den Wänden niederschlugen (siehe Tabelle VII). Ganz ähnlich wie dieser Phosphornebel verhält sich Salmiaknebel. Der letztere wurde erzeugt, indem durch zwei gesonderte Flaschen, von denen die eine konzentrierte HCl-, die andere konzentrierte NH_3-Lösung enthielt, ein Luftstrom durchgeblasen wurde. Die beiden Gase vereinigten sich in einer dritten Flasche und wurden von dort in die Versuchsflasche (Fig. 1) übergeführt. In der nachfolgenden Tabelle bedeutet Zeit die Zeit nach Füllung der Versuchsflasche mit Salmiak bezw. Phosphornebel.

Tabelle VII.

Zeit	Phosphor	Salmiak
0	130	80
2 Min.	125	70
17	87	40
22	71	33
42	44	16

Deutlich erkennt man aus der Tabelle, wie mit dem Verschwinden des Nebels die Ausschläge kleiner werden.

Aus diesen Versuchen schliesse ich, dass die entladende Wirkung des Phosphors nur von den staubförmigen Oxydationsprodukten desselben herrühren. Auf Grund dieser Vorstellung erklären sich die oben erhaltenen Resultate, sowie die Versuchsergebnisse von Barus folgendermassen. Ist die Oberfläche doppelt so gross, so bilden sich doppelt soviel Staubteilchen und damit wird die entladende Wirkung verdoppelt. Bei Zunahme der E. M. K. laden sich die Teilchen auf ein höheres Potential und es wird infolgedessen mehr Elektrizität zwischen den Elektrodenplatten *B* und *C* in der Zeiteinheit übergeführt. Dass es unter besonderen Umständen möglich ist, einen Sättigungsstrom zu erhalten, indem man Luft über Phosphor streichen lässt und dadurch die festen Oxyda-

1) Nach meinen Versuchen scheint der Phosphornebel stärker entladend zu wirken als gewöhnlicher Rauch. Es rührt dies wohl sicherlich daher, dass die Oxydationsprodukte des Phosphors gute Leiter der Elektrizität, die Rauchteilchen der Cigarette dagegen wohl schlechte Leiter sind.

tionsprodukte desselben mit fortreisst, welche an den Elektroden haften, liegt auf der Hand. Dass im allgemeinen bei allen Versuchen mit Phosphor unregelmässige Resultate erhalten werden, versteht sich von selbst, da die Oxydation und damit die Staubbildung von einer Reihe von unkontrollierbaren Umständen abhängt.

Man könnte noch annehmen, dass sich ausser den festen Oxydationsprodukten noch Elektronen bilden, die aber z. B. bei dem letzten Versuch (S. 480) in der Glaswolle zurückgehalten werden, so dass sie nicht entladend wirken können. Hiergegen lässt sich einwenden, dass nach den Versuchen von Townsend die aus chemischen Prozessen stammenden Ionen bezw. Elektronen sogar durch Schwefelsäure hindurchgeleitet werden können, ohne vernichtet zu werden. Erwägt man ferner, dass bei keiner anderen Oxydation, wo gasförmige Oxydationsprodukte entstehen, auch nur eine Spur von Leitfähigkeit entdeckt worden ist[1]), erwägt man ferner, dass die die Luft leitend machenden Teilchen durch Papier und alle anderen festen Körper zurückgehalten werden, so liegt der Schluss nahe, dass auch bei der Oxydation des Phosphors keine Ionen oder Elektronen entstehen, sondern dass die durch die Oxydation des Phosphors hervorgerufene Leitfähigkeit eine nur scheinbare ist, welche von der Konvektion der Elektrizität durch die festen, nebelförmigen Oxydationsprodukte herrührt.

1) Siehe Barus, l. c.

Erlangen, physikal. Institut, 22. Juni 1902.

(Eingegangen 24. Juni 1902.)

VORTRÄGE UND DISKUSSIONEN VON DER 73. NATURFORSCHERVERSAMMLUNG ZU HAMBURG.

Hermann Frahm (Hamburg), Neue Untersuchungen im Schiff- und Schiffsmaschinenbau auf der Werft von Blohm & Voss.[1])

Das Thema, welches ich heute zu behandeln habe, lautet nach Programm ganz allgemein: „Neue Untersuchungen im Schiff- und im Schiffsmaschinenbau." Es lag demgemäss in meiner Absicht, Sie in dem Rahmen dieses Vortrages mit einer Reihe von Untersuchungen bekannt zu machen, die in den letzten Jahren auf der hiesigen Werft resp. auf den hier erbauten Dampfern zur Ergründung bisher nicht genügend bekannter Vorgänge im Betriebe von Schiffen bezw. von Schiffsmaschinen zur Durchführung gelangt sind.

Im Laufe der Bearbeitung des Vortrages kam ich jedoch zu der Überzeugung, dass es nicht möglich sein würde, in der für denselben zur Verfügung stehenden Zeit das vorhandene Material zu bewältigen und ein auch nur annähernd klares Bild von sämtlichen Untersuchungen zu geben. Ich entschloss mich daher, Beschränkung zu üben und nur einen Gegenstand, den dafür aber etwas gründlicher zu behandeln.

Bevor ich mich demselben zuwende, möchte ich mit Rücksicht auf die hier arrangierte Ausstellung von Instrumenten und Apparaten (s. Fig. 1), wenigstens kurz die Untersuchungen aufzählen, über welche ich ursprünglich die Absicht hatte, Ihnen vorzutragen.

Es sind dies: Erstens Messung von Zug und Scheerspannungen in den am ungünstigsten beanspruchten Konstruktionsteilen von Schiffskörpern (vornehmlich in den Decksaufbauten), vorgenommen bei Gelegenheit von Stapelläufen, zu dem Zwecke, um Schlüsse zu ziehen auf die Grösse der bei schwerer See in den Schiffskörpern auftretenden Beanspruchungen. Die Apparate, mit denen diese Spannungen gemessen wurden, finden sie am Ende des Tisches aufgestellt, ebenso einen Teil der gewonnenen Diagramme.

Weitere Versuche wurden in grösserem Massstabe ausgeführt zur Bestimmung der Reibungsverhältnisse von Propellerwellen in dem hinteren Sternrohrlager, mit besonderer Berücksichtigung verschiedener Gleitgeschwindigkeiten und verschiedener Lagermaterialien, als Pockholz, Rotguss, Weissmetall, wobei ausserdem die verschiedensten Mischungen von Schmiermaterialien und zwar vom klaren Seewasser bis zu reinem Öl zur Erprobung gelangten. Drüben am Tische finden Sie die Photographie von den Versuchseinrichtungen sowie eine Reihe von Tafeln mit Schaulinien, welche die gewonnenen Ergebnisse wiedergeben.

Andere Versuche betreffen die Ermittlung der momentanen Schiffsgeschwindigkeiten auf Probefahrten, unter Benutzung der sogenannten Dutchman-log-Methode, welche darin besteht, dass vom Bug des Schiffes aus treibende Körper ins Wasser geworfen werden, deren Durchgang

1) Abteilung 3, 25. Sept. 1901.

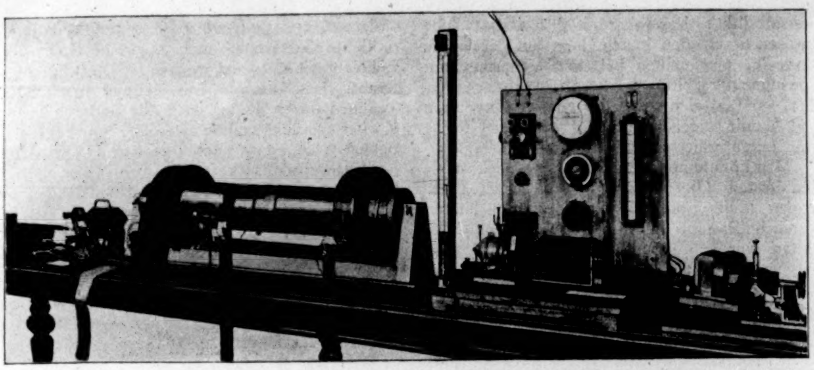

Fig. 1.

durch zwei querschiffs, möglichst weit voneinander entfernt angeordnete Visierlinien beobachtet wird, um aus der zwischen den Durchgängen verfliessenden Zeit und der Entfernung der beiden Visierlinien die Schiffsgeschwindigkeit auf einfache Weise zu berechnen. Das bisher erlangte Material harrt noch der Durcharbeitung. Die benutzten Apparate, bestehend aus den Visierinstrumenten und dem elektrisch bethätigten Zeitmesser, sind ebenfalls auf dem Tische ausgestellt.

Schliesslich seien noch Versuche erwähnt, die angestellt wurden, um die Eigenschwingungszahl eines Schiffskörpers auf experimentelle Weise festzustellen.

Sie sehen hier ein senkrecht aufgehängtes Modell, welches in einem reduzierten Massstab über seine ganze Länge genau denselben Verlauf der Trägheitsmomente sowie der Massen zeigt, wie das zu untersuchende Schiff. Aus der sorgtältig durch Messung bestimmten Schwingungszahl des Modells wird diejenige des zugehörigen Schiffes gefunden, einfach durch Multiplikation mit einer aus den Massstäben des Modells zu ermittelnden Verhältniszahl.

Die wichtigsten und bei weitem umfangreichsten Forschungsarbeiten der letzten Jahre beziehen sich auf die experimentelle Untersuchung der in rotierenden Schiffswellen beim Betriebe auftretenden dynamischen Kraftwirkungen mit besonderer Berücksichtigung der möglichen Resonanzschwingungen.

Dieses Thema habe ich nun speziell für den heutigen Vortrag ausgewählt, indem ich von der Voraussetzung ausging, dass dasselbe den Herren Teilnehmern von besonderem Interesse sein würde.

Schon seit langen Jahren hat der Schiffsmaschinenbau mit rätselhaften Brüchen von Schrauben- und Tunnelwellen zu kämpfen gehabt, die sich auf Seedampfern zum Teil bei vollkommen ruhigem Wetter ereigneten und für welche eine stichhaltige Erklärung etwa durch die Voraussetzung fehlerhaften Materials oder die Annahme, dass die Schraubenflügel gegen treibende Hindernisse geschlagen hätten, nicht gefunden werden konnte. Die Bruchflächen der gebrochenen Wellen zeigten hin und wieder eigenartige Verdrehungsstrukturen, die vermuten liessen, dass bei der Zerstörung ungeheuere Drehkräfte mit im Spiele gewesen sein müssten.

Woher sollten diese nun kommen?

Die durch den Dampfdruck erzeugten Drehkräfte konnten es direkt nicht sein, denn dieselben überschreiten selten um mehr wie 50% den Mittelwert. Es blieb nur übrig, bisher nicht genügend erkannte Kraftwirkungen dynamischer Natur als die hauptsächlichste Ursache jener Zerstörungen anzunehmen.

Von verschiedenen Seiten war schon auf die Möglichkeit des Auftretens von sogenannten Resonanzschwingungen in den Wellenleitungen hingewiesen worden, doch waren dieses nur Mutmassungen, die zunächst noch jeder positiven Unterlage entbehrten.

Um diese Unterlage nun zu beschaffen, wurde von den Herren Blohm & Voss im November 1899 der Entschluss gefasst, auf dem Wege des Experiments die Vorgänge in den Wellenleitungen studieren zu lassen und wurde mir die ehrenvolle Aufgabe zu teil, die erforderlichen Versuche vorzunehmen. Von dem angegebenen Termin an wurden dieselben regelmässig bei Gelegenheit von Probefahrten durchgeführt.

Bevor ich auf die Beschreibung der Versuchseinrichtungen eingehe, möchte ich kurz die Punkte berühren, auf deren Klarstellung es ankommt.

Wie Ihnen bekannt sein dürfte, ist auf grossen Seedampfern die Entfernung zwischen der kraft-

abgebenden Maschine und den kraftaufnehmenden Propellern meistens eine recht beträchtliche. Es ist daher einleuchtend, dass die verbindende Wellenleitung nicht mehr als ein starres Maschinenelement, sondern gleichsam als eine — je nach den Abmessungen — mehr oder weniger elastische Torsionsfeder aufzufassen ist, welche durch das von der Maschine aus an den Propeller abgegebene Drehmoment unter Spannung gehalten wird. Würde man es mit einem vollkommen gleichmässig laufenden Antriebsmotor zu thun haben, wie es beispielsweise ein Elektromotor oder eine Dampfturbine ist, so würde das ganze System (inklusive Propeller) gleichmässig rotieren, die Übertragungswelle würde unter konstanter Torsionsspannung stehen und demgemäss auch eine konstante Verdrehung erleiden.

Anders wird die Sachlage sofort, wenn die in der Maschine wirkende Drehkraft Schwankungen unterworfen ist, wie sie bei Dampfmaschinen mit hin- und hergehenden Kolben unvermeidlich sind. In diesem Falle treten in den Wellenleitungen ebenfalls Schwankungen in den Torsionsspannungen und demgemäss auch in den Verdrehungen und weiterhin in den Drehgeschwindigkeiten auf, die jedoch keineswegs, wie man fast allgemein anzunehmen geneigt ist, den Schwankungen der durch die Kolbendrucke an die Kurbeln abgegebenen Drehkräfte proportional sind. Sie nehmen vielmehr infolge der Wechselwirkung zwischen den angreifenden Drehkräften und den durch die Wellenleitung von bestimmter Elastizität verbundenen Massenanhäufungen in der Maschine und dem Propeller Werte an, deren rechnerische Vorherbestimmung recht schwierig und umständlich ist.

Einer korrekten Durchführung dieser Rechnung stand bisher, und zwar besonders für die später zu behandelnden kritischen Tourenzahlen, die mangelnde Kenntnis des Gesetzes der Widerstandsänderungen des Propellers bei Geschwindigkeitsschwankungen entgegen. Über letzteren Punkt, sowie vornehmlich über die Grösse der Schwankungen in den Torsionsspannungen der Wellen bei verschiedenen Tourenzahlen sollten nun die Versuche Klarheit bringen.

Der Entwurf der für die letzteren zutreffenden Einrichtungen geschah nach folgenden Gesichtspunkten.

Zunächst galt es, die Torsionsbeanspruchungen der Wellenleitungen zu bestimmen und zwar der Grösse und dem Verlaufe nach. Dieses konnte dadurch geschehen, dass punktweise für eine ganze Maschinenumdrehung die momentanen Wellenverdrehungen, aus denen ja die Torsionsspannungen sich direkt rechnerisch herleiten lassen, in ihrer absoluten Grösse gemessen bezw. fixiert wurden. Zur weiteren Verwertung der so gewonnenen Daten war es ferner erforderlich, gleichzeitig die zugehörigen Geschwindigkeitsschwankungen des ganzen Systems und zwar für die Maschine und den Propeller getrennt aufzunehmen.

Es bedurfte erst langwieriger Vorversuche, um brauchbare Versuchseinrichtungen zu schaffen. Das schliesslich als zweckmässig sich ergebende Versuchsverfahren ist folgendes.

Um zwei möglichst weit voneinander entfernte bequem zugängliche Flanschen der zu untersuchenden Wellenleitung werden besonders präparierte, papierdünne Zinkblätter gelegt und entsprechend befestigt. Gegen jedes dieser Zinkblätter kann ein feiner Platinstift gedrückt werden, welcher an dem Ende eines zurückklappbaren Hebels befestigt ist. Der letztere hat seinen Drehpunkt auf einer vermittelst festgelagerter Schraubenspindel parallel zur Welle verschiebbaren Mutter. An einer passenden Stelle des Wellentunnels, möglichst in der Nähe eines Messflansches, wird nun ein mit Tourenregelung versehener kleiner Elektromotor aufgestellt, auf dessen Achse zwei vollkommen gleiche besonders konstruierte Kontaktscheiben angeordnet sind, zu dem Zwecke zwei getrennte elektrische Stromkreise synchron in genau gleichen Zeiträumen zu unterbrechen bezw. zu schliessen. Diese Stromkreise führen von der Plusleitung des Schiffsnetzes unter Vorschaltung entsprechender Widerstände durch die Unterbrechungsvorrichtungen zu den beiden Platinstiften und weiterhin, falls die letzteren gegen die Flanschen gelegt sind, durch die Zinkstreifen zum Minuspol. Die Zinkblätter sind auf chemischem Wege mit einer elektrisch leitenden, schwärzlichen Oxydschicht derart empfindlich überzogen, dass die Platinstifte bei Durchgang des Stromes bleibend sichtbare Striche ziehen, welche bei Stromunterbrechung sofort verschwinden.

Der Hergang bei Vornahme der Versuche ist nun folgender:

Zunächst wird bei abgestoppter Maschine und oben stehendem Hochdruckkolben die relative Lage der beiden Platinstifte zu der spannungslosen Nulllage der Welle auf den Zinkstreifen genau markiert, wobei besondere Sorgfalt aufgewendet werden muss, die Welle in einen von Torsionsspannungen wirklich freien Zustand zu bringen. Dieses machte bei den ersten Versuchen wegen der unkontrollierbaren Reibung in den Wellentraglagern sowie in der Sternrohrstopfbüchse viele Schwierigkeiten, bis schliesslich ein Ausweg dadurch gefunden wurde, dass die Lage der Platinstifte zweimal markiert wird, und zwar einmal nachdem die Welle vermittelst der Maschinendrehvorrichtung nach vorwärts, das andere Mal nachdem sie nach rückwärts gedreht ist. Das sich aus den beiden Marken ergebende Mittel kann mit vollem Rechte

als für den spannungslosen Zustand der Welle geltend angesehen werden. Der Vorsicht halber wird diese Bestimmung der Nulllage mehrere Male wiederholt.

Nach dieser Vorbereitung wird mit dem eigentlichen Versuch gewartet, bis die Maschine längere Zeit bei der zu untersuchenden Tourenzahl im Beharrungszustand gelaufen hat. Ist dieses der Fall, so wird zunächst der Unterbrecher auf Touren gebracht und der Strom für die beiden Stromkreise eingeschaltet. Dann legen auf ein gegebenes Zeichen hin die an den beiden Messflanschen postierten Personen die Platinstifte gegen die mit den Flanschen rotierenden Zinkblätter und bewirken gleichzeitig durch Drehen der kleinen Schraubenspindeln ein Vorschieben der Stifte parallel zur Wellenachse. Auf ein zweites Zeichen hin werden dieselben wieder abgehoben. Die Stifte ziehen somit auf den Zinkblättern gleichlaufende Spirallinien, welche jedoch infolge der Wirkung des elektrischen Unterbrechers nur als mehr oder weniger lang gestrichelte Linien sichtbar werden.

Diese gestrichelten Linien beziehungsweise deren Anfangspunkte[1]) geben uns nun alles, was wir brauchen. Zunächst ermöglichen sie, die Kurve der Geschwindigkeiten der Welle in den Ebenen der beiden Messflanschen aufzutragen. Hierbei ist der leitende Gesichtspunkt der, dass die Entfernungen zwischen den Strichanfangspunkten genau gleichen Zeiten entsprechen. Die Geschwindigkeitskurven können somit einfach dadurch gefunden werden, dass von einer den Verlauf der Zeit darstellenden Abszissenachse jene Entfernungen zwischen den Anfangspunkten als Ordinaten aufgetragen und darauf durch die Endpunkte derselben Kurven gezogen werden. Die Massstäbe für dieselben lassen sich rückwärts aus der mittleren Diagrammhöhe und der Tourenzahl der Welle leicht berechnen. Die Kurven für die beiden Messflanschen werden zweckmässig übereinander gezeichnet, wobei darauf zu achten ist, dass die der Zeit nach zusammengehörigen Ordinaten von den gleichen Punkten der Abszissenachse aus abgetragen werden.

Weiterhin ergeben sich die Verdrehungen der Welle und damit indirekt die Torsionsspannungen aus den Zinkblattdiagrammen auf folgende Weise: Die Zinkstreifen werden so nebeneinander gelegt, dass die für den spannungslosen Zustand und obenstehende Hochdruckkurbel gezogenen Markierlinien genau übereinander liegen. Dann stellen die relativen Verschiebungen der zeitlich zugleich entstandenen Strichanfangspunkte auf beiden Streifen die momentanen Verdrehungen der Welle zwischen den Messflanschen dar. Diese Verdrehungen können ähnlich wie die Geschwindigkeitskurven graphisch zu einer Kurve verzeichnet werden, welche die Schwankungen in dem Verlauf des Drehmomentes klar zum Ausdruck bringt.

Aus der mittleren Höhe dieser Kurve lässt sich übrigens, sobald als Abszissen die Wege im Flanschumfang genommen sind, das mittlere übertragene Drehmoment und weiterhin die an den Propeller abgegebene Arbeitsleistung leicht berechnen. Allerdings ist hier Voraussetzung, dass der in der Formel vorkommende Elastizitätsmodul für Schub für das in Frage stehende Wellenmaterial bekannt ist. Um auch hier jegliche willkürliche, nicht genügend belegte Annahme auszuschliessen, wurden von seiten der Firma Blohm & Voss bei den drei bedeutenden Werken: Fried. Krupp, Bochumer Verein und Gewerkschaft Witkowitz je drei Probewellen bestellt, welche in der Königlichen mechanisch-technischen Versuchsanstalt in Charlottenburg zwecks Bestimmung des Schubelastizitätsmoduls Torsionsversuchen unterworfen wurden. Diese Versuche ergaben, dass der Modul bei dem fraglichen Material überraschend wenig schwankt und ziemlich scharf den Mittelwert 828000 kg pro qcm annimmt. Auf Grund dieser Zahl wurde nun bei einer Reihe von Schiffsmaschinen die effektive Leistung und weiterhin das Verhältnis derselben zu der gleichzeitig bestimmten indizierten Leistung, d. h. der mechanische Wirkungsgrad, ermittelt.

Es ist dies, meines Wissens, das erste Mal, dass es gelungen ist, bei Maschinen von mehreren tausend Pferdestärken die sogenannten Bremspferdekräfte mit Genauigkeit festzustellen. Das angegebene Verfahren, welches, kurz gefasst, darin besteht, dass die Übertragungswelle selbst als Torsionsdynamometer benutzt wird, lässt sich nur bei Schiffsmaschinen mit ihren langen elastischen Wellenleitungen zur Durchführung bringen. Die bei den einzelnen Maschinen festgestellten Wirkungsgrade schwanken hauptsächlich zwischen 92 und 88 Proz. Nur in besonderen Fällen und zwar vornehmlich bei den später behandelten kritischen Tourenzahlen wurden noch niedrigere Werte, bis zu 82 Proz. herunter, festgestellt. Den Genauigkeitsgrad dieser Art der Bestimmung der effektiven Leistung schätze ich auf 0,5 bis 1 Proz.

Indem ich mich nunmehr wieder den Versuchen selbst zuwende, möchte ich nochmals hervorheben, dass der hauptsächliche Zweck derselben in der Erforschung der Resonanzschwingungen bestand. Diese Resonanzschwingungen kommen zu stande, sobald die Periodenzahl der Schwankungen im Tangentialdruckdiagramm gleich oder angenähert gleich ist

1) Die Endpunkte mit zu benutzen empfiehlt sich aus dem Grunde nicht, weil die Genauigkeit derselben infolge der unvermeidlichen Funkenbildung bei Unterbrechung des elektrischen Stromes mehr oder weniger ungünstig beeinflusst wird.

der Eigenschwingungszahl der Welle. Die letztere lässt sich einfach berechnen nach der Formel

$$n_e = \frac{30}{\pi}\sqrt{\frac{G\cdot\mathcal{J}_0\cdot(\mathcal{J}_1+\mathcal{J}_2)}{l\cdot\mathcal{J}_1\cdot\mathcal{J}_2}},$$

worin $\mathcal{J}_1$ und $\mathcal{J}_2$ die Trägheitsmomente der in der Maschine bezw. im Propeller rotierenden Massen, $\mathcal{J}_0$ das polare Trägheitsmoment des Wellenquerschnitts, l die Länge der Welle und G den Elastizitätsmodul für Schub bezeichnet.

Die Periodenzahl der Tangentialdruckschwankungen ergiebt sich direkt aus der jeweiligen Tourenzahl der Maschine, sie ist entweder gleich $\frac{1}{1}$, $\frac{2}{1}$ oder $\frac{3}{1}$ etc. der letzteren. Wenn hier von Schwankungen schlichtweg gesprochen wird, so sind in Wirklichkeit damit die harmonischen, d. h. nach dem Sinusgesetz verlaufenden Kurven gemeint, in welche sich jedes, auch das unregelmässigste Tangentialdruckdiagramm nach Massgabe des Fourierschen Theorems zerlegen lässt.

Wir nennen diese Kurven in der Folge: harmonische Grundkurven I., II. und III. etc. Ordnung, je nachdem sie die selbe, die doppelte, dreifache etc. Periodenzahl haben, wie die Wellenumdrehungen. Weiterhin wollen wir die Umdrehungszahlen der Maschinen als kritische I., II., III. etc. Ordnung bezeichnen, je nachdem die Eigenschwingungen erregt werden durch die harmonischen Grundkurven I., II., III. etc. Ordnung.

An einem Beispiel möge dieses näher erläutert werden. Die Eigenschwingungszahl der Welle des Einschraubendampfers „Besoeki" beträgt nach Rechnung: 252. Dann ist die kritische Tourenzahl

$$\text{I. Ordnung} = \frac{252}{1} = 252$$

$$\text{II.}\quad „\quad = \frac{252}{2} = 126$$

$$\text{III.}\quad „\quad = \frac{252}{3} = 84$$

$$\text{IV.}\quad „\quad = \frac{252}{4} = 63$$

u. s. w.

Von diesen kritischen Tourenzahlen liegen nur diejenigen III. und IV. Ordnung in dem Bereiche der möglichen Umdrehungen.

Auf der Probefahrt des betreffenden Dampfers ist es nun gelungen, fast genau bei der kritischen Tourenzahl III. Ordnung 83 die vorhin eingehend beschriebenen Versuche vorzunehmen. Auf der hier aufgestellten Tafel I (Fig. 1) hat das Versuchsmaterial Verarbeitung gefunden, und zwar stellt die untere Kurve in vergrössertem Massstabe die Wellenverdrehungen und

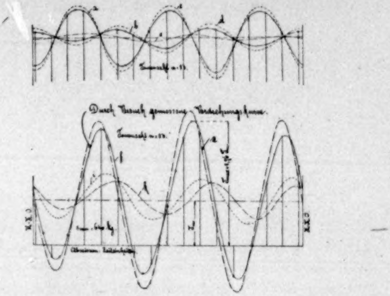

Fig 2.

zugleich den Verlauf der an den Propeller abgegebenen Torsionsmomente dar.

Die Geschwindigkeiten der Welle in den Messflanschebenen sind oben auf der Tafel I als Kurven *a* und *b* abgetragen und erkennt man sofort, dass einem Maximum in der vorderen Flanschebene genau ein Minimum in der hinteren entspricht.

Aus den Geschwindigkeitskurven der beiden Flanschen lassen sich nun diejenigen in einem beliebigen Wellenquerschnitt einfach durch Interpolation finden. In Fig. 2 sind nach dieser Methode die Kurven für die mittlere Maschinen- sowie die Propellerebene ermittelt und mit punktierten Linien eingetragen. Ferner ist die Geschwindigkeitskurve für denjenigen Wellenquerschnitt punktiert eingezeichnet, welcher an den Schwingungen nicht teilnimmt. Bei vollkommen homogenen Wellen würde dieser Querschnitt, wir nennen ihn den indifferenten Querschnitt, mit dem Schwerpunkte der Propellermasse und der rotierenden Maschinenmassen zusammenfallen, während seine Lage bei Wellen mit variablem Durchmesser, wie es in Wirklichkeit immer der Fall ist, so berechnet werden muss, dass das von ihm nach vorn liegende Wellenstück mit den Maschinenmassen dieselbe Eigenperiode hat, wie das nach hinten gelegene mit der Propellermasse.

Sie sehen auf den ersten Blick an der Grösse der Geschwindigkeits- bezw. Verdrehungsschwankungen, dass das ganze System gewaltige Schwingungen ausführt, die sich an der im Betriebe befindlichen Maschine dem Auge des Beschauers entzogen und welche erst durch die Versuche unter Benutzung der momentanen Wirkung des elektrischen Stromes ans Licht gezogen werden konnten. Wie mächtig die Schwingungen sind, geht am klarsten aus dem Verdrehungsdiagramm hervor. Dasselbe zeigt, dass die Welle während einer Umdrehung dreimal bis auf circa das Dreifache des mittleren Wertes angespannt wird, um

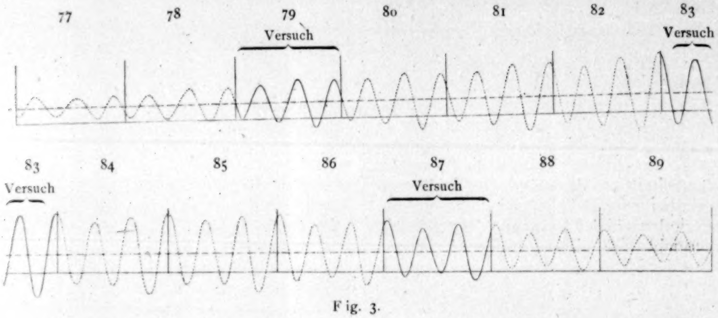

Fig. 3.

eben so oft wieder über die spannungslose Nulllage bis weit ins Negative zurück zu schwingen. Sie sehen also, dass zeitweilig sogar ein Mitschleppen der Maschine durch den Propeller erfolgt und dass die Welle wechselnde Beanspruchungen erleidet, die weit über das zulässige Mass hinausgehen, und welche bei längerer Dauer sehr wohl die Ursache von Brüchen werden können.

Eine offene Frage ist nun zunächst die, ob und wie weit das Auftreten dieser Schwingungen an eine bestimmte Tourenzahl gebunden ist. Auch hierüber haben uns teils die Versuche, teils theoretische Berechnungen Klarheit gebracht. Auf Fig. 3 ist für den Einschraubendampfer „Radames" der Verlauf der Torsionsmomente für verschiedene Tourenzahlen, und zwar von 77 ansteigend bis zu der kritischen III. Ordnung, welche bei 83 liegt und darüber hinaus bis zu 89, graphisch aufgetragen.

Es geht aus dieser Darstellung hervor, dass es eine stark ausgeprägte kritische Tourenzahl gar nicht giebt, indem die Schwingungen schon bei den nächst niederen bezw. höheren Tourenzahlen einen bedrohlichen Charakter annehmen.

Die Konsequenzen, welche wir hieraus ziehen, bestehen vor allen Dingen darin, bei Neuanlagen die Wellen so zu dimensionieren, dass die kritischen Tourenzahlen der Maschine um mindestens 10 Umdrehungen von den normalen entfernt liegen.

Von Interesse dürfte noch eine lediglich auf dem Wege der Rechnung erfolgte Bestimmung des Verlaufes der Torsionsschwankung sein, deren Ergebnisse als Kurve Z in das durch die Versuche gewonnene Diagramm auf Fig. 2 eingetragen ist. Man sieht aus der leidlich guten Übereinstimmung der Kurven, dass es möglich ist, auch auf diesem Wege die Torsionsschwankungen sowohl der Grösse als der Phase nach mit genügender Genauigkeit zu bestimmen. Es sei dabei allerdings bemerkt, dass die Rechnung ziemlich zeitraubend ist und von dem sie Ausführenden einen nicht geringen Grad von Vertrautheit mit der Theorie der erzwungenen Schwingungen verlangt.

Auch war es nötig, bevor die Rechnung durchgeführt werden konnte, das bereits erwähnte Gesetz der Widerstandsänderungen des Propellers bei Geschwindigkeitsschwankungen zu bestimmen. Für eine ganze Reihe von Maschinenanlagen wurde zu diesem Zwecke unter Benutzung des Prinzips von d'Alembert aus den durch die Versuche gewonnenen Verdrehungs- bezw. Geschwindigkeitskurven die Widerstandskurven des Propellers rückwärts ermittelt und gefunden, dass die Widerstände nicht, wie man bisher glaubte annehmen zu müssen, mit dem Quadrat, sondern durchschnittlich mit der 3,8 Potenz der Geschwindigkeiten schwanken.

Dabei stellte sich in allen Fällen die Notwendigkeit heraus, zu den berechneten Massenträgheitsmomenten des Propellers Zuschläge in Höhe von 20 bis 35 Proz. zu machen, um das Wasser zu berücksichtigen, welches von den Flügeln bei der Rotation mitgerissen wird.

Der Gang der rein theoretischen Rechnung ist kurz folgender:

Zunächst wird das Tangentialdruckdiagramm, welches unter Berücksichtigung der Beschleunigungen der hin- und hergehenden Massen aufgezeichnet ist, auf dem Wege der sogen. harmonischen Analyse in die harmonischen Grundkurven zerlegt, wie es beispielsweise auf Tafel II für den S. S. „Besoeki" geschehen ist. Dann wird für jede einzelne dieser Grundkurven, welche ja harmonisch schwingende Kräfte darstellen, das Bewegungsgesetz der Welle, und zwar besonders die relativen Verdrehungen der beiden Endquerschnitte zu einander bestimmt, wobei die Dämpfungskonstante für den Propeller aus dem oben angedeuteten Widerstandsgesetze zu ermitteln ist. Aus den auf diese Weise gefundenen Einzelbewegungen findet man die wirkliche, indem man jene zu einer

Resultierenden zusammensetzt, welche in dem vorliegenden Falle durch die vorhin erwähnte Kurve Z auf Fig. 2 dargestellt wird.

Ich möchte noch hervorheben, dass die eben skizzierte theoretische Methode im Prinzipe bereits in dem hervorragenden Werke „Dynamik der Kurbelgetriebe" von Prof. Lorenz-Göttingen zur Anwendung empfohlen worden ist, doch besteht ein wesentlicher Unterschied darin, dass von meiner Seite die aus dem Widerstandsgesetz sich ergebende Dämpfung der Propellerbewegung, welche besonders in der Gegend der kritischen Touren von ausschlaggebendem Einfluss ist, Berücksichtigung findet, während in dem angezogenen Werke die Dämpfung vernachlässigt ist.

Es ist noch meine Absicht, Ihnen den praktischen Gang der Versuche an einem hier aufgestellten, der Wirklichkeit nachgebildeten Wellenmodell zu demonstrieren. Vorher möchte ich jedoch auf zwei Hilfsmittel aufmerksam machen, deren Konstruktion und Herstellung im Laufe der Versuche nötig wurde.

Es ist dies zunächst ein Apparat zur direkten Feststellung der kritischen Tourenzahl an einer im Betriebe befindlichen Maschine. Das Prinzip desselben besteht kurz darin, dass die relativen Schwankungen einer kleinen, von der zu untersuchenden Welle angetriebenen Schnurscheibe gegenüber einer gleichmässig rotierenden Schwungmasse durch entsprechende Mechanismen auf einen Schreibstift übertragen werden, welcher dieselben auf ein bewegtes Papierband aufschreibt. Der Apparat leistet also gewissermassen dasselbe für die Schwingungen rotierender Wellen, wie der bekannte Schlicksche Pallograph für die Vibrationen von Schiffskörpern. Die praktische Benutzung geschieht in der Weise, dass man die Maschine allmählich schneller laufen und von Umdrehung zu Umdrehung durch den Apparat die Torsionsschwankungen aufzeichnen lässt. Diejenige Umdrehungszahl, bei welcher die grössten Schwankungen auftreten, ist dann eine kritische.

Auf diese Weise ist es mehrfach gelungen, die lediglich durch Rechnung bestimmte kritische Tourenzahl zu kontrollieren, wobei sich immer eine vorzügliche Übereinstimmung mit der Wirklichkeit ergeben hat.

Fig. 4 zeigt beispielsweise die auf dem Besoeki mit dem Apparat genommenen Diagramme.

Ein weiteres wichtiges Instrument ist ein Tourenmesser mit Angabe in die Ferne. Die Neukonstruktion eines solchen stellte sich als notwendig heraus, weil die bisher bekannten Tachometer an einen bestimmten Aufstellungsort gebunden sind, der sich für bequeme, direkte Ablesung meistens nicht eignet.

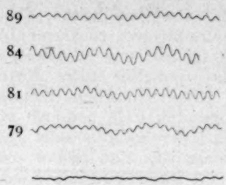

Fig. 4.

Die neue Tachometerkonstruktion dürfte insofern Ihr besonderes Interesse erregen, als bei derselben die sogenannten Resonanzschwingungen, deren schädliche Wirkung in den Wellen der Schiffsmaschinen wir kennen gelernt haben, nutzbringende Verwendung gefunden haben.

Ich habe hier auf dem Tische einen solchen Apparat aufstellen und an eine unserer mehrere 100 m entfernten Betriebsmaschinen anschliessen lassen. Sie sehen an dem Apparat (siehe Figur 5) neben einer Skala eine Reihe von weissen Quadraten, die sich von einem dunklen Hintergrunde scharf abheben. Diese Quadrate sind in Wirklichkeit die Enden von Stahlfedern verschieden abgestimmter Schwingungszahl, welche auf einer elastisch befestigten Oszillationswelle montiert sind. Diese Welle nun wird auf elektromagnetischem Wege durch Wechselströme, die von der Maschine aus erzeugt werden, in schwach oszillierende Bewegungen versetzt, die sich sämtlichen Federn zwar mitteilen, aber nur diejenige zu kräftigem Ausschwingen bringt, deren Eigenperiode mit der momentanen Periode des Wechselstromes übereinstimmt. Sie können an dem am meisten in die Breite gezogenen Quadrat erkennen, dass die ferne Betriebsmaschine augenblicklich 82 Umdrehungen macht.

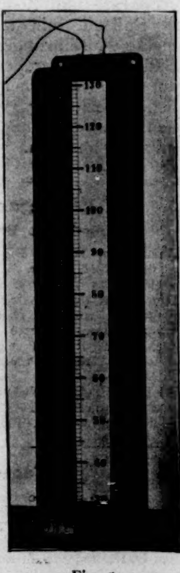

Fig. 5.

Der von der Maschine bethätigte kleine Wechselstromgenerator besitzt weder Bürsten noch Schleifringe, er wirkt lediglich durch reine Induktion. An einem hier aufgestellten gleichartigen Motor können sie die Konstruktion studieren.

Die Zeit erlaubt es mir leider nicht, auf

weitere interessante Einzelheiten, die mit diesem neuartigen Tourenmesser zusammenhängen, einzugehen. Es sei mir nur gestattet, darauf hinzuweisen, dass derselbe allem Anschein nach nicht nur für wissenschaftliche Untersuchungen, wie im vorliegenden Fall, sondern vornehmlich auch für praktische Zwecke sehr geeignet und eventuell berufen ist, eine bisher sehr empfundene Lücke im Baue von elektrischen Messapparaten auszufüllen.

Nunmehr möchte ich Ihnen die eingangs erwähnten Versuche vorführen. (Folgt Demonstration mit kurzen Erläuterungen.)

Bevor ich schliesse, drängt es mich, meiner Mitarbeiter zu gedenken und zwar möchte ich vornehmlich Herrn Regierungsbauführer Dauner nennen, der mir besonders bei der zeichnerischen Verarbeitung des Versuchsmaterials, von dem ich Ihnen leider nur einen winzigen Bruchteil vorlegen konnte, wacker beistand, sowie Herrn Lüdders, den praktischen Vorstand unserer elektrischen Abteilung, dem die Anfertigung der Apparate und Instrumente oblag.

Sollte es mir nun gelungen sein, Ihnen durch meine Ausführungen ein auch nur ungefähres Bild davon gegeben zu haben, wie heutzutage auf einer modernen Werft auch in wissenschaftlicher Beziehung gearbeitet wird, so würde ich den Zweck meines Vortrages als vollkommen erreicht ansehen.

(Eingegangen 14. Mai 1902.)

Eingegangene Schriften.

(Eingehende Besprechung vorbehalten.)

Bernstein, Julius, Die Kräfte der Bewegung in der lebenden Substanz. gr. 8. IV u. 28 S. 1902. Braunschweig, Friedrich Vieweg & Sohn. M. —.80.

Die Fortschritte der Physik im Jahre 1901. Dargestellt von der Deutschen Physikalischen Gesellschaft. 57. Jahrgang. Erste Abtheilung, enthaltend Physik der Materie. Redigirt von Karl Scheel. gr. 8. XXXIX u. 421 S. 1902. Braunschweig, Friedrich Vieweg & Sohn. M. 17.—.

Gleichen, A., Lehrbuch der geometrischen Optik. Mit 251 Figuren im Text. gr. 8. XIV u. 511 S. 1902. Leipzig und Berlin, B. G. Teubner. Gebunden M. 20.—.

Tagesereignisse.

Die Akademie der Wissenschaften zu Berlin hat auf ihrem diesjährigen Leibniztage folgende Preisaufgabe, die neue dieses Jahres um den 5000 M.-Preis gestellt: „Nach den übereinstimmenden Ergebnissen neuerer Forschung betrachtet man die Kathodenstrahlen und ebenso die Becquerel-Strahlen als Schwärme äusserst schnell bewegter elektrisch geladener Partikel. Es ist wahrscheinlich, dass die nämlichen Partikel auch bei der gewöhnlichen Elektrizitätsleitung in Gasen und in Metallen, ebenso auch bei der Emission und Absorption des Lichtes die Hauptrolle spielen. Gewünscht werden neue, mit theoretischer Erläuterung verknüpfte Messungen, wodurch die Kenntnisse von den Eigenschaften jener Partikel in wesentlichen Punkten erweitert werden.“ Die Bewerbungsschriften können in deutscher, lateinischer, französischer, englischer und italienischer Sprache abgefasst sein und sind bis Ende 1904 einzuliefern.

Personalien.

(Die Herausgeber bitten die Herren Fachgenossen, der Redaktion von eintretenden Änderungen möglichst bald Mitteilung zu machen.)

Der Adjunkt am ersten chemischen Laboratorium in Wien Dr. Rud. Wegscheider wurde zum o. Professor der Chemie an der Universität Wien, der Privatdozent der Meteorologie Dr. Trabert in Wien zum o. Professor der kosmischen Physik in Innsbruck, der Privatdozent Dr. Hillebrand in Wien zum a. o. Professor der Astronomie in Graz, die Privatdozenten der Chemie Dr. E. Roos-Freiburg i. Br. und Dr. F. Feist-Kiel zu Professoren, der Betriebschemiker an der Bergakademie in Freiberg Schiffner von der königl. Muldener Schmelzhütte zum a. o. Professor für Hüttenkunde, der Privatdozent für Mathematik an der Freiburger Hochschule Dr. A. H. Löwy zum a. o. Professor, der a. o. Professor der pharmazeutischen Chemie an der Universität Berlin Dr. Thoms zum Leiter der pharmazeutisch-chemischen Universitätsanstalt in Dahlem ernannt.

Professor Dr. H. Minkowski, Dozent für höhere Mathematik am Züricher Polytechnikum, hat einen Ruf an die Universität Göttingen, der Professor der analytischen Chemie Wilhelm Wislicenus in Würzburg einen Ruf als o. Professor an die Universität Tübingen angenommen.

Der Professor der Chemie Dr. A. Werner-Zürich und der a. o. Professor für Chemie an der Universität München Dr. Karl Hofmann erhielten einen Ruf nach Basel.

Der König von England hat aus Anlass der Krönung einen neuen Verdienstorden gestiftet und zunächst 12 Mitglieder desselben ernannt, darunter die Männer der Wissenschaft Lord Rayleigh und Lord Kelvin.

Das Kuratorium der Jubiläumsstiftung der deutschen Industrie beschloss, Professor Slaby zur Förderung seiner Versuche über Funkentelegraphie 20000 M. und Professor Linde für Versuche zum Studium der Ausflusserscheinungen der Gase 10000 M. zu überweisen.

Dem Professor der Physik an der technischen Hochschule in Karlsruhe Dr. Otto Lehmann wurde der Titel Geheimer Hofrat verliehen.

An der technischen Hochschule in Berlin habilitierte sich der Realgymnasial-Oberlehrer Dr. Gleichen für Physik, an der technischen Hochschule in Karlsruhe der Ingenieur K. Kriemler für technische Mechanik, an der königl. Bergakademie zu Freiberg der Assistent am chemischen Laboratorium Hütteningenieur Dr. phil. Theodor Döring für Chemie, an der technischen Hochschule Karlsruhe Dr. Paul Ettner für chemische Technologie, an der Universität Marburg der Regierungsrat am Patentamt Professor Dr. A. Reissert für Chemie, an der Universität Heidelberg Dr. Weber für Physik, an der technischen Hochschule in Berlin Dr. Arndt für physikalische Chemie.

An Stelle des erkrankten Professor Dr. Leopold Gegenbauer an der Universität Wien wird Professor Dr. Tauber für das Sommersemester über Elemente der Differential- und Integralrechnung lesen.

Abgelehnt hat der a. o. Professor Dr. Disteli in Karlsruhe den Ruf auf den ordentlichen Lehrstuhl der darstellenden Geometrie an der technischen Hochschule in Wien, der Professor der Mathematik an der Universität Göttingen Dr. Hilbert den an ihn ergangenen Ruf an die Berliner Universität und Professor Beckmann in Leipzig den Ruf als Leiter der in Dahlem neu erbauten pharmazeutisch-chemischen Anstalt.

Gestorben sind der frühere Minister Astronom Faye von der Akademie der Wissenschaften zu Paris, der o. Professor der Physik Dr. Pier Maria Garibaldi in Genua, der Professor der Mathematik an der technischen Hochschule zu Karlsruhe Hofrat Dr. Schröder, der Professor der Chemie an der Universität Edinburgh Iveson Macadam (von einem Portier der Universität erschossen).

Für die Redaktion verantwortlich Professor Dr. H. Th. Simon in Göttingen. — Verlag von S. Hirzel in Leipzig.
Druck von August Pries in Leipzig.